

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-115523

(P2000-115523A)

(43)公開日 平成12年4月21日 (2000.4.21)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	マークオフ(参考)
H 04 N	1/387	H 04 N	1/387
G 06 T	1/00		1/41 C
H 04 N	1/41	G 06 F	15/66 B
	1/46	H 04 N	1/46 Z

審査請求 有 請求項の数 3 O.L (全 30 頁)

(21)出願番号	特願平11-274168	(71)出願人	590000798 ゼロックス コーポレイション XEROX CORPORATION アメリカ合衆国 06904-1600 コネティ カット州・スタンフォード・ロング リッ チ ロード・800
(22)出願日	平成11年9月28日 (1999.9.28)	(72)発明者	トッド エー. キャス アメリカ合衆国 94131 カリフォルニア 州 サンフランシスコ ディグビー スト リート 4
(31)優先権主張番号	1 6 2 1 1 9	(74)代理人	100079049 弁理士 中島 淳 (外1名)
(32)優先日	平成10年9月28日 (1998.9.28)		
(33)優先権主張国	米国 (U.S.)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 符号化メッセージデータを有する出力カラー画像生成方法及び複数メッセージデータ項目の符号化方法

(57)【要約】

【課題】 人間は知覚不能だが、デバイスは検出可能な
ように画像を符号化及び復号化する方法を提供する。

【解決手段】 カラー画像内に符号化されるべきメッセ
ージデータを取得し、出力信号ブロックカラー画像のサ
イズディメンションを定義する変調パターンであって、
色差量を不特定の参照色に適用して生成される少なくと
も2色から成る出力信号ブロックカラー画像での画像位
置を示すパターンで空間的に配置される少なくとも2つ
の異なるデータ値を含むメッセージデータの変調パター
ンを選択し、不特定の参照色として出力色値を取得し、
これを使用して色差量を取得し、出力色値、色差量及び
変調パターンを使用して出力信号ブロックカラー画像を
生成し、画像領域として出力信号ブロックカラー画像を
中に含むカラー画像を生成して、符号化メッセージデータ
を有する出力カラー画像を生成する。

1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 符号化されたメッセージデータを有する出力カラー画像を生成するための方法であって、カラー画像内に符号化されるべきメッセージデータを取得するステップと、
出力信号ブロックカラー画像のサイズディメンションを定義し、色差量を不特定の参照色に適用することにより生成される少なくとも2つの色から成る前記出力信号ブロックカラー画像における画像位置を示すパターンで空間的に配置される少なくとも2つの異なるデータ値を含む、前記メッセージデータの変調パターンを選択するステップと、
前記不特定の参照色として出力色値を取得するステップと、
前記出力色値を使用して前記色差量を取得するステップと、
前記出力色値、前記色差量及び選択された前記変調パターンを使用して出力信号ブロックカラー画像を生成するステップであって、前記出力信号ブロックカラー画像が、前記変調パターンにより示されるサイズディメンションを有し、前記出力色値が色変調された画像領域の色値全ての平均であるという条件に従って前記色差量によって前記出力色値を変調することにより生成される前記色値を有する前記色変調された画像領域の空間的に配置されたパターンを含む、出力信号ブロックカラー画像を生成するステップと、
画像領域として前記出力信号ブロックカラー画像を中心含むカラー画像を生成するステップと、
を含む、符号化メッセージデータを有する出力カラー画像生成方法。

【請求項2】 符号化されたメッセージデータを有する出力カラー画像を生成するための方法であって、前記メッセージデータを取得するステップと、
前記メッセージデータを表す信号ブロックを選択するステップであって、各信号ブロックは出力信号ブロックカラー画像のサイズディメンションを定義し、色差量を特定する多次元色空間における予め定められた色空間方向及び関連する色変調の振幅を示すデータを含み、各信号ブロックは更に、スケーリングデータを前記予め定められた色空間方向及び関連する色変調の振幅に適用することによって生成されるスケーリングされた色差量の前記出力信号ブロックカラー画像内の画像位置を特定する空間的に配置された変調パターンを示すスケーリングデータを含む、信号ブロックを選択するステップと、
出力色値を取得するステップと、
前記出力色値及び前記選択された信号ブロックを使用して出力信号ブロックカラー画像を生成するステップであって、前記出力信号ブロックカラー画像は、色変調された画像領域の空間的に配置されたパターンを有し、前記出力色値が前記色変調された画像領域の色値全ての平均

色であるという条件に従って、各色変調された画像領域が、前記変調パターンを示すスケーリングデータに応じた前記色空間方向及び関連する色変調の振幅により前記出力色値を変調することによって生成された前記色値を有する、出力信号ブロックカラー画像を生成するステップと、

前記出力信号ブロックカラー画像を画像領域として含む出力カラー画像を生成するステップと、
を含む、符号化メッセージデータを有する出力カラー画像生成方法。

【請求項3】 メッセージデータ項目が視覚的に見る人に実質上知覚不能なように、複数のメッセージデータ項目を入力カラー画像の符号化されたカラー画像バージョンに符号化するための方法であって、

複数の副領域を含む入力カラー画像を受け取るステップと、

予め定められた順序を有する複数の順序付けられたメッセージデータ項目を取得するステップと、

各順序付けられたメッセージデータ項目ごとに、前記予め定められた順序で出力信号ブロックカラー画像を生成するステップであって、

前記メッセージデータ項目の信号ブロックを選択するステップであって、各信号ブロックは出力信号ブロックカラー画像のサイズディメンションを定義し、可変データである色差量を含み、各信号ブロックは更に、これを前記色差量に適用することにより生成されるスケーリングされた色差量の前記出力信号ブロックカラー画像内の画像位置を特定する空間的に配置された変調パターンを示すスケーリングデータを含む、信号ブロックを選択するステップと、

前記入力カラー画像の前記副領域の内の1つの入力色値を決定するステップと、

前記入力色値を使用して前記色差量を取得するステップと、

前記入力色値、前記色差量及び選択された前記信号ブロックを使用して出力信号ブロックカラー画像を生成するステップであって、前記出力信号ブロックカラー画像が、色変調された画像領域の空間的に配置されたパターンを有し、入力色値は前記色変調された画像領域の色値

全ての平均色であるという条件に従って、各色変調された画像領域が、前記変調パターンを示す前記スケーリングデータに応じた前記色差量により前記入力色値を変調することにより生成された前記色値を有する、出力信号ブロックカラー画像を生成するステップと、

前記入力カラー画像内の前記副領域を前記出力信号ブロックカラー画像と置き換えるステップと、

を含む、出力信号ブロックカラー画像を生成するステップと、
を含み、

前記入力カラー画像の前記符号化されたカラー画像バー

ジョンは、前記入力カラー画像の前記副領域を、前記順序付けられたメッセージデータ項目の前記予め定められた順序で前記出力信号ブロックカラー画像と置き換えることにより生成され、前記符号化されたカラー画像はオリジナルカラー画像と外観上実質的に等しく見る人に知覚される。

複数メッセージデータ項目の符号化方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、一般に、カラー画像処理及び情報の符号化（エンコード）の分野におけるプロセッサに基づく技術に関し、より詳細には、パターン内に配置されたマルチカラーの副領域から構成される画像領域を用いて、画像中にデジタルデータを符号化するための技術に関する。このデータは、各画像領域を見る人に平均色の総体的な視覚的外観をもたらす一方で、マルチカラーの副領域は実質的に人には知覚不能であると同時に復号化するためのデジタル画像捕捉デバイスによる検出は可能であるように符号化され得る。マルチカラーの副領域が、視覚的に実質上知覚不能である場合、符号化されるデータは顕著な画像の歪み又は劣化無しにオリジナルカラー画像に符号化され得るので、復号化処理はオリジナル画像を使用せずに、符号化された画像から符号化されたデータを取り出すことが可能である。

【0002】

【従来の技術】情報を埋め込むことによりもたらされる画像の歪みを最小限に抑え、それと同時に画像のライフサイクルにおける後のある時点でのこの情報の確実な復号化を可能にする方法で、符号化される情報が見る人に実質的に知覚不能であるように、符号化された情報を画像に埋め込むことを第1の目標とする画像マーキング技術は周知である。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】画像マーキングの一分野は電子透かしであり、これは一般にグラフィック又は写真画像に適用される。電子透かしは、ロバスト性及び画像変化の最小化のファクタに関係しているので、透かし処理が成されている画像の商品品質及び価値を低下させずに見る人に知覚不能な埋め込み信号を作り出すよう設計される。また、その一方で電子透かしは、埋め込み信号が除去されると透かしの目的が失われる所以、改ざんされにくい埋め込み信号を作り出すように設計される。透かしは、埋め込まれた信号を除去しようとするあらゆる試みが画像を劣化させ、商品として無価値となるように設計される。画像変化の最小化及び符号化されたデータのロバスト性のファクタは、電子透かしにとつて非常に重要であるので、高データ密度を達成するという目標は、これらの技術では一般に断念される。

【0004】データグリフ技術は、埋め込まれたデータが高密度であること、並びに埋め込まれたデータが復号

化目的のためにロバスト性が高いことを必要とするアプリケーションで使用される埋め込まれた符号化情報の一カテゴリーである。データグリフ技術は、デジタル情報を2進形で1と0とに符号化し、これらは非常に小さな線形マーク等の識別可能な形状のマークに変換される。

【0005】

【課題を解決するための手段】本発明は、「信号ブロック」と呼ばれる複数のデータ構造を利用する。このデータ構造のそれぞれは、他の全ての信号ブロックに対して

10 ユニークに（唯一、特に）色変調の空間パターンを有し、このパターンは情報が示し得るコード体系の可能な値の1つを符号化する。色値が信号ブロックに加えられると、「出力信号ブロックカラー画像」又は単に「出力信号ブロック」が、多次元色空間内のベクトルにより定義される参照色（リファレンスカラー）を色空間方向に沿って所定量変調させることにより生成される。色空間方向は、出力信号ブロック内の個々の色が画像を見る人に知覚可能ないこと、並びに出力信号ブロック自体が参照色の総体的な平均色の知覚をもたらすことを保証するように選択され得る。

【0006】

【発明の実施の形態】図1は、画像符号化技術のブロック図であり、演算200及び300を示しており、またこの2つの演算が必要とする入力及び出力データ構造を例示している。これらの演算及びデータ構造は、ここで簡単に紹介され、後に、より詳細に論じられる。演算200は、オリジナルカラー画像40中に符号化されるべきメッセージ画像70、Mを、図1ではメッセージ、mと示される入力データ20から作成する。メッセージ、30 mは、2進のコード体系等のコード体系における有効なメッセージ値の実際のメッセージ値を含む。演算200は、本明細書では「信号ブロック」と呼ばれ特にメッセージ、mを符号化するために設計されるデータ構造30を使用する。コード体系における各有効値ごとにユニークにパターン化された信号ブロックが存在する。演算200は、符号化で使用されるユニークにパターン化された信号ブロック30を定義し、メッセージ、mに従ってそれらを配置し、メッセージ画像70と呼ばれる信号ブロックの集合を形成する。各信号ブロック30は、符号化演算の結果として作成される出力信号ブロックカラー画像のサイズディメンションを定義し、色差量を示す可変データを含む。また各信号ブロック30は、簡明にするために本明細書では「副領域」とも呼ばれる構成画像領域のパターンの出力信号ブロック画像における画像位置を示すスケーリング（基準化）データを含む。出力信号ブロック内の副領域は、少なくとも2つの異なる色値を有し、信号ブロックにより定義されるユニークな画像配置パターンで存在する。演算300は更に、メッセージ画像70を入力カラー（キャリア）画像40と結合させ、色差量、メッセージ画像70に配置された信号ブロ

シク及び画像40からの入力色を使用して、各出力信号ブロックの構成要素である副領域の色を決定する。各出力信号ブロックのための色が決定されると、画像、Eとして示される最終的な符号化画像80が完成する。

【0007】図2は、2進のメッセージ、mの符号化で用いられるのに適した一対の信号ブロック32及び33の第1の実施の形態を示す。各信号ブロックは、(後に定義される)「カラーセル」と呼ばれる単位でK×Kと測定される寸法を有し、上記のように色変調により差別化されユニークな空間パターンで配置された幾つかの小領域を含む。図2は、一対の信号ブロックの例を示し、各信号ブロックは、2つの異なる色変調を有する4つの正方形の副領域から構成される異なる空間パターンを有する。「色変調」は、出力信号ブロックカラー画像を生成するために不特定の参照色に適用されるべき色差量、即ち色の変化量である。図2に示されるパターンは、例示目的にすぎず、副領域が如何なる特定の又は必須の形状を有することを意味する意図はないことが理解されねばならない。信号ブロック内の別様に色変調された副領域のユニークな空間配置、即ちパターンは、信号ブロックが符号化するメッセージデータ項目(アイテム)の値を示す。図示されるように配置された副領域を有する信号ブロック32は、「0」値を符号化し、別のユニークなパターンで配置された副領域を有する信号ブロック33は、「1」値を符号化する。図2に示される信号ブロックは、x及びyの両次元で異なり、そのために二次元(2D)信号ブロックと呼ばれる副領域から成るユニークなパターンを含む。

【0008】図2において、副領域の別の色変調がベクトル表記 $\underline{\delta}$ により示され、これは、各副領域の色変調が、多次元色空間における色空間方向及び関連する色変調の振幅の両方により特定されるベクトルに従って生じることを意味する。色変調は、信号ブロック内の色差量の総平均が0であるという必要条件を有する。従って、色変調パターンに従って参照色を変調することにより作り出される色値を有する画像領域から構成される出力信号ブロックは、参照色の平均色を有するように見えるであろう。色変調された画像の副領域は、見る人には知覚不能であり、人間の目によって参照色の平均色に統合されるであろう。

【0009】本発明のコンテキストにおいて「カラーセル」は、人間の目がフルカラーマークに統合することができる、媒体上の最小のカラーマーク(单数又は複数)である。最も一般的なマーキング技術では、これはしばしば少数のプリンタセル(例えば、図48の342)から構成され、それぞれシアン、マゼンタ、イエロー及びブラック等の異なる色でプリントされる。これらの異なる色を有するプリンタセルは、そうである必要はないが、均一のサイズであり得る。図48に参照番号344で示される実線で囲まれたプリンタセルのグループは、

カラーセルの例を表す。カラーセルの明確な定義は、例えば、ドットスクリーン、ラインスクリーン、又は連続階調等の特定のプリンタ技術のファンクションである。従って、図48のカラーセル344は、この定義の典型を示しているに過ぎず、カラーセルがある特定の定数のプリンタセルから構成される必要があることや、均一のサイズのプリンタセルから構成されることを示しているのではないことが理解されるであろう。

【0010】出力信号ブロックカラー画像の副領域は、10通常、幾つかのカラーセルから構成され、その結果、出力信号ブロックもまた幾つかのカラーセルから構成される。しかしながら、人間がフルカラーマークに統合することができフルカラーマークとして知覚されることが可能な單一マークをマーキング技術が作り出すことも可能であり、この場合には、副領域は单一のカラーセルから構成され得る。従って、信号ブロックの設計(即ち、信号ブロックのサイズ及び副領域のパターン)は、符号化された画像を表示するために使用される特定のプリント技術に依存するか又は影響を及ぼされ得る。図48では、図2に示されるタイプの単一の信号ブロックから生成される出力信号ブロックの一部が切れ目の少ない破線で示され、参照番号346と表示されている。信号ブロック副領域は参照番号348で示される。

【0011】図3のフローチャートは、画像符号化技術の演算200の実施の一形態を示す。演算200は、メッセージ、mとも呼ばれる入力メッセージデータ20がその中に符号化される、キャリア画像と呼ばれる既知のカラー画像40(図1)が存在することを想定する。メッセージデータ20は、一連のメッセージデータ項目から構成され、各データ項目は、コード体系において有効なメッセージ値のセットの内の1つを示す。

【0012】メッセージデータ20は、処理ボックス210で受信される。この例示される実施の形態において、符号化されたデータを保持する出力信号ブロックは、符号化された画像に二次元配列で配置される。メッセージデータ20のメッセージデータ項目は、キャリア画像40と同じサイズディメンションを有する二次元(2D)のメッセージ配列に配置される。図4は、メッセージ配列22の例を示し、このメッセージ配列ではメッセージ「001010011」が3×3の配列で配置され、メッセージデータ項目の配置はこの配列の左上隅から開始され、右下隅で終了する。メッセージ配列22は一例に過ぎず、メッセージデータ項目は任意の予め定められた順で配列に配置され得る。図3に戻ると、ユニークにパターン化された信号ブロックが、図2に関する説明で上述されたように、処理ボックス240で、そのコード体系の各メッセージデータ値ごとに定義される。メッセージ配列22の各メッセージデータ項目ごとに、メッセージデータ項目により示される値を表す信号ブロックが選択され、処理ボックス280で全ての選択され

た信号ブロックがメッセージ画像74、Mと呼ばれる画像に空間的に配置される。図4のメッセージ画像74は、メッセージ配列22のそのデータに適切な信号ブロックを空間的に配置することにより形成されるメッセージ画像を示す。例えば、信号ブロック32はメッセージ配列22内のメッセージデータ項目23の「0」値を符号化し、信号ブロック33はメッセージ配列22内のメッセージデータ項目24の「1」値を符号化することが理解されるであろう。この時点では、メッセージ画像74及びその中に含まれる信号ブロックは、それらに関係づけられた色を有さない。

【0013】色変調演算300(図1)は、図5により詳細に示される。一般に、オリジナルカラー(キャリア)画像内の小画像領域は、メッセージ画像74(図4)内の各信号ブロックと対にされる。信号ブロックの参照色又は目的色(ターゲットカラー)と呼ばれるこの画像領域の色は、符号化された画像に出力信号ブロックを生成するために、それぞれ対にされた信号ブロックの色差量の空間的な副領域パターンに応じて変調される色である。

【0014】オリジナル画像内の対にされた画像領域が色に関して十分に滑らかである場合、信号ブロックは直接ここで符号化され得る。例えば、2つの明確に異なる色を有する領域間のエッジが生じる部分等で、画像領域が色に関して十分に滑らかでない場合、この領域の平均色又は目的色が何であるかを決定するのは難しいであろう。目的色は、最終的に画像に符号化される信号ブロックを生成するために変調されるので、またこの実施の形態の目標は見る人に知覚不能な信号ブロックを生成することであるので、変調のために用いられる目的色は、可能な限り正確な画像領域の平均色の表示でなければならない。

【0015】実質的な画像色変化を有する画像に対する解決策は、信号ブロックを有する予定である各位置が色に関して滑らかであることを保証するために画像をKでアップサンプリングする(サンプリング精度を上げることである。しかしながら、アップサンプリングは符号化の発明の必要条件ではない。メッセージ画像(配列)74内の各信号ブロックはK×Kの寸法のカラーセルを有するので、メッセージがその中に符号化される予定のキャリア画像は、先ず、キャリア画像内の各ピクセルが信号ブロックのサイズの小画像領域となるように、処理ボックス310で拡大、即ちアップサンプリングされる。このアップサンプリングされた画像は、キャリア画像I'’と呼ばれる。この処理は、図6に示される。オリジナルカラー画像42は、異なるクロスハッチパターンにより表される様々な色から成るピクセルによって示される典型的なカラー画像である。オリジナルカラー画像42は、カラー画像符号化技術が明確に示され得るように、例示目的のために単純な構成要素で概略的に示され

る。あらゆるタイプの画像の複雑さを有するカラー画像が本技術による符号化に適し得ることは理解されるであろう。アップサンプリング演算310の後のキャリア画像49が、同色の拡大された画像領域によって図6に示される。画像42のピクセル43及び45に対応する画像49の画像領域44及び46は、それぞれ次の記号で示される異なる色を有するものとして明確に呼び分けられる。

【数1】

c_1 及び c_2

【0016】図5に戻ると、メッセージ画像74(図4)は、アップサンプリングされたキャリア画像49と処理ボックス320で結合され、符号化された画像を生成する。この結合処理の間、処理ボックス320は、メッセージ画像74の各信号ブロックごとに、キャリア画像I'内に對にされた画像領域の色(次の記号(A)により示される)に関する色空間方向 $\pm\delta$ を決定し、出力信号ブロックの副領域は次の式(B)の色を与えられる。

【数2】

$$\begin{array}{ll} c & (A) \\ c \pm \delta & (B) \end{array}$$

式(B)の色は、見る人には知覚不能であるが、スキアナ等のデジタル画像捕捉デバイスによって検知可能であり、更に上記(A)の記号により示される色が平均的に知覚可能なように選択される。

【0017】図7は、演算300の処理ボックス320により実行されるキャリア画像49とメッセージ画像(配列)74の結合処理を示す。図8は、メッセージ画像74の信号ブロックを代表する1つの信号ブロックと、それと對を成すキャリア画像領域との結合処理を示す。信号ブロック32は、次の記号(C)により示される色を有するキャリア画像領域44と結合される。

【数3】

c_1 (C)

結果として得られる出力信号ブロック82は、信号ブロック32の空間パターンで配置された、次式により示されるそれぞれの色から成る副領域を有し、知覚される総体的な平均色は上記(C)で示される色である。

【数4】

$c_1 + \delta$ 及び $c_1 - \delta$

図9は、メッセージ画像74の信号ブロックの内の第2の信号ブロックと、それと對を成すキャリア画像領域との結合処理を示す。信号ブロック33は、次の記号(D)により示される色を有するキャリア画像領域46と結合される。

【数5】

c_2 (D)

結果として得られる出力信号ブロック85は、信号ブ

ック33の空間パターンで配置された、次式により示されるそれぞれの色から成る副領域を有し、知覚される総体的な平均色は上記(D)で示される色である。

【数6】

$$\underline{c}_2 + \underline{\delta} \text{ 及び } \underline{c}_2 - \underline{\delta}$$

【0018】図10は、出力信号ブロックカラー画像の二次元配列89を示す最終的な符号化済みカラー画像88を示す。符号化済み画像88は、それぞれ図8及び9の色変調された出力信号ブロック82及び85を含む。メッセージデータ20は、図6のキャリア画像49内において色変調された信号ブロックを介して知覚不能なように符号化されているので、符号化された画像88の色はキャリア画像49の色と同様に様々なクロスハッチパターンで表示される。大きなメッセージがカラー画像に*

$$\underline{\delta} = \underline{\delta} \hat{\underline{\delta}} \in \mathbb{R}^3 \quad (\text{E})$$

この式において、 $\underline{\delta}$ は単位方向又は単位色空間方向ベクトル、 $\underline{\delta}$ は変調の大きさをそれぞれ示し、 $\underline{\delta}$ 及び δ は定数として固定されていた。 \mathbb{R} は実数のセットを示す。

単位色空間方向は、イエローブルー方向になるように選択された。各入力色に付加されたイエロー方向における変調 $(+\underline{\delta})$ 及びブルー方向における変調 $(-\underline{\delta})$ は、最終的な符号化済み画像上に容認できない画像劣化をほとんど又は全くもたらさないことが示された。

【0020】これに代わって、上記の式(E)で表される変調において単位方向ベクトル及び変調の振幅を定数として固定するよりも寧ろ、色変化の量的測定をもたらす人間の知覚及びスキナの応答のモデルを使用して最適に選択されてもよい。

【0021】図11の三次元の任意の色空間50は、太字の点線軸51により定義され、その起点は点52である。入力色47は、図示されるように色空間50に配置される。色空間の起点52からの破線ベクトル53及び破線59は、単に図11の透視図内の入力色47の位置に関する明確性をもたらすものである。色空間50内の色47とは異なる色は、多数のベクトル54、55、56、57、及び58の内の任意のベクトルに沿って配置され得る。課題は、制約を満たす測定可能な色差を有するある色が選択され得る色空間方向を見つけることである。制約とは、次の記号(F)により示される色と第2の色とによって形成される色空間内のベクトルが、記号(F)により示される色と第2の色との色差が見る人による色反応を最小化すると同時にスキナによる色反応を最大化するように第2の色が選択される場合に、最適な色空間方向□であることである。

【数9】

$$\underline{c} \quad (\text{F})$$

図12もまた色空間50を示すが、色空間ベクトル58のみを有する。色83及び84もまた、ベクトル58に

*高密度で符号化されると、メッセージを符号化する二次元の信号ブロックは格子を形成し、この格子は、メッセージ画像が図5の処理ボックス320で更に結合される時にオリジナルカラー画像に重ねられる。

【0019】上述のように、各信号ブロック内の副領域の色は、オリジナル画像、即ちキャリア画像内のピクセルの色を変調したものである。つまり、この変調は、オリジナル画像の一領域内のピクセルのセットの色(次の記号で示される)に加えられる少量のシフト土 $\underline{\delta}$ である。

【数7】

$$\underline{c}$$

符号化技術の実施において、変調は次式で表される。

【数8】

沿って色空間50に配置されるように示される。色空間方向58は、色47及び83の間の測定された定量的な色差が見る人による色反応を最小化すると同時にスキナによる色反応を最大化する場合に、最適な色空間方向である。

【0022】符号化技術はまた、データをグレースケール画像に符号化し得ることに留意すべきである。グレースケールの実施において、全ての入力色はブラックからグレーにそして白に及ぶグレースケールカラーのセットに含まれ、即ち、色はR、G、及びBと等しい要素を有する。それにより色空間方向は、グレースケールカラーのセットを示す色空間内の方向として知られる。従って、出力信号ブロックカラー画像内に含まれる色変調された画像領域の色値は全て、グレースケールカラーのセットに含まれる。

【0023】符号化アプリケーションにおいて、高符号化データ密度を必要としない場合には、一次元(1D)の信号ブロックが符号化で使用され得る。1Dの信号ブロックにおいて、ユニークに色変調されたパターンは、符号化済み画像内に本質的に1行又は1列のメッセージのみ存在するように、画像全体にわたって一次元でのみ変化する。このような符号化は、単純且手で持てるデジタル画像捕捉デバイスが、画像の位置合わせ及びスキューに関する問題を考慮する必要無しに、そして符号化された信号ブロックの2Dの格子内での位置を見つける必要無しに、符号化された画像をデジタル化及び復号化することを可能にするであろう。

【0024】図13は、データを符号化する1Dの信号ブロック632及び633の対を示す。信号ブロック632及び633は、x方向にKのカラーセルの寸法を有

11

し y 方向にはあらゆる任意のサイズであり得る出力信号ブロックを定義する。各信号ブロックは、信号ブロックの定義により要求されるように、他とは異なるユニークな色変調のパターンを有する。図14は、メッセージ画像675を形成するために信号ブロック632及び633の直線状の配列に符号化されたメッセージ21を有する出力画像674を示す。

【0025】1Dの信号ブロックをカラー画像に符号化することは、2Dの信号ブロックの符号化のための方法と同様である。カラー画像が大きな、本質的に単色から成る矩形領域を有しない限り、一切信号が伝送されない1つの次元において高さが固定された1Dの信号ブロックが、この次元における色の変化範囲にわたって埋め込まれる可能性は、なお高い。従って、信号ブロックの画像の y 次元が固定されると、副領域の色がそれに関して変調する実際の目的色は、信号ブロックのこの y 次元全体にわたって変化している。1Dの信号ブロックが最終的な符号化済み画像において知覚不能であることを、2つの技術は保証する。第1に、2Dの信号ブロックの符号化で成されるように両方向にキャリア画像をアップサンプリングすることが、より大きく、滑らかに変化する局所的な色の領域を保証するであろう。第2に、信号を一次元にのみ伝送しつつ、1Dの信号ブロックを二次元で成されるように符号化することが考えられ得る。 y 次元に沿って一度に固定部分／量を処理すること、及びその時点での入力画像目的色に従って、その部分の色変調を変更することにより、1Dの信号ブロック全体がキャリア画像に埋め込まれる。これは、それが不可視であることを確実にするために、信号ブロックの y 次元全体で実行される。

【0026】ここに記載された符号化の例示された実施の形態は、符号化の目標が、オリジナル画像にほとんど又は全く画像の歪みをもたらさずに、実質的に知覚不能なようにその中に符号化されたデータを有する、オリジナルカラー画像の符号化画像バージョンを生成することであると想定したものである。このデータは、カラー画像全体にわたって、又はその一部のみで符号化され得、或いは、例えばドキュメントの上部又は下部に、若しくは側部に沿って、符号化されたデータの有色帯（カラーバンド）を付加することにより、ドキュメント等のオリジナル画像に追加され得る。

【0027】例示された実施の形態においては、単一の色空間方向が出力信号ブロック内の各位置ごとの色差量のために使用される。以下の記述は、2つの直交する色空間方向を考慮することにより、かなりの数のユニークな信号ブロックパターンを定義することを可能にする実

12

施について説明する。しかしながら、色変調を各出力信号ブロック内に隠す必要がない場合は、色空間方向は出力信号ブロック内の画像の位置の関数であり得るので、多数の色空間方向が使用され得、それらは信号ブロックにわたって変化することが可能であり得る。

【0028】符号化技術の理論上の原則及び数学モデルは、古典的通信理論、特にこの主題に関して多数の文献で展開されているような古典的なベクトルチャネルの公式化に従う。読者は、更なる情報のために、ウォーゼンクラフト (Wozencraft) 及びジェイコブス (Jacobs) による文献である『通信工学 (Communication Engineering)』(John Wiley & Sons社、1965年) の第4章「最適な受信装置の原理 (Optimum Receiver Principle s)」を参照されたい。この適応において、各メッセージデータ項目 m は次の式で表される離散的空間信号ブロックとして符号化され、チャネルを介して送信される。

【数10】

$$\vec{s}_i [p, q]$$

20

この信号ブロックは、三次元 (3D) ベクトルの 2D 配列であり、その個々は 3D の色空間における色（又はより詳細には色差量）を特定する。信号ブロックは、出力信号ブロックの寸法を $K \times K$ のカラー画像として定義する。次の式で示される M 個の適切なユニークな信号ブロックから成るセットは、「信号セット」と呼ばれ、この式において M はコード体系内の明確に区別された値の個数を示す。

【数11】

$$\{\vec{s}_0, \vec{s}_1, \dots, \vec{s}_{M-1}\}$$

30

【0029】信号ブロックは、これもまた 2D でありベクトルが付加された離散的関数である、次式で示される N 個の直交する基底関数のセットの一次結合として構成される。

【数12】

$$\vec{\varphi}_j [m, n]$$

信号ブロックは線形であり、基底関数の加重和である。基礎（基本）ベクトルとも呼ばれる各基底関数は、多次元色空間における色空間方向に沿って色差の大きさを参考色からスケーリングするスケーリングファクタを決定する。図2の信号ブロック32及び33を定義する基礎ベクトルは、形式的に以下のように表され得る。

【数13】

$$\bar{\varphi}_0 = \frac{\sqrt{2}}{K} \begin{bmatrix} \underline{0}' & \underline{0}' & \dots & \hat{\delta}' & \hat{\delta}' & \dots \\ \underline{0}' & \underline{0}' & \dots & \hat{\delta}' & \hat{\delta}' & \dots \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots \\ \hat{\delta}' & \hat{\delta}' & \dots & \underline{0}' & \underline{0}' & \dots \\ \hat{\delta}' & \hat{\delta}' & \dots & \underline{0}' & \underline{0}' & \dots \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} \quad (1)$$

及び

$$\bar{\varphi}_1 = \frac{\sqrt{2}}{K} \begin{bmatrix} \hat{\delta}' & \hat{\delta}' & \dots & \underline{0}' & \underline{0}' & \dots \\ \hat{\delta}' & \hat{\delta}' & \dots & \underline{0}' & \underline{0}' & \dots \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots \\ \underline{0}' & \underline{0}' & \dots & \hat{\delta}' & \hat{\delta}' & \dots \\ \underline{0}' & \underline{0}' & \dots & \hat{\delta}' & \hat{\delta}' & \dots \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} \quad (2)$$

この式において、 $\sqrt{2}/K$ はそれ自体の基礎ベクトルの
点乗積が 1 であるような正規化ファクタであり、
 $\hat{\delta}$ は単位色空間方向を示す。

【0030】基礎ベクトルの一次結合としての信号ブロックの構成は、形式上次の数式のように表され得る。 * 【数14】

$$\vec{s}_i[m, n] = \sum_{j=0}^{N-1} s_{ij} \bar{\varphi}_j[m, n] \quad (3)$$

この式において i 番目の信号ブロックのための j 番目の
係数は、次式のとおりである。 * 【数15】

$$s_{ij} = \sum_{m=0}^{K-1} \sum_{n=0}^{K-1} (\vec{s}_i[m, n])^T \bar{\varphi}_j[m, n] \quad (4)$$

【0031】信号ベクトルは、基礎ベクトルの成分関数
に重み付けする係数を示す次式の信号ブロックのベクト
ル表記である。

【数16】

信号ベクトルは形式上、次式のように表現され得る。
【数17】

 $\vec{s}_i[m, n]$

$$\underline{s}_i = [s_{i0}, s_{i1} \dots s_{iN-1}]^t \in \Re^N$$

(5)

この式において、 \Re は実数のセットである。

また、太字で示され下線を引かれた小文字は、正規ベクトルを意味するために用いられることに留意されたい。次の記号で示される基礎ベクトルは正規直交であり、離散的な2Dのベクトルを付加された関数、即ち3Dのカラーベクトルから成るK×K行列である。

【数18】

$$\bar{\phi}_j$$

*従って、次式が考慮されるであろう。

【数19】

$$\bar{\phi}_j \in \Re^{3K^2}$$

10 基底関数は、次式が成立つことから正規直交である。

【数20】

$$\sum_{m=0}^{K-1} \sum_{n=0}^{K-1} (\bar{\phi}_i[m, n])^t \bar{\phi}_j[m, n] = 0, \quad i \neq j \quad (6)$$

$$\sum_{m=0}^{K-1} \sum_{n=0}^{K-1} (\bar{\phi}_i[m, n])^t \bar{\phi}_j[m, n] = 1, \quad i = j \quad (7)$$

これらの2Dの基底関数の内積は、対応する要素の点乗 20※ 積を得ることにより算出されることに留意すべきである。

【0032】「0」のメッセージ値を意味するメッセージ記号m0は、次式の信号ブロックにより示される。

【数21】

※

$$\bar{s}_0 = -\eta \bar{\phi}_0 + \eta \bar{\phi}_1$$

$$\bar{s}_0 = \eta \bar{\phi}_0 - \eta \bar{\phi}_1$$

「1」のメッセージ値を意味するメッセージ記号m1は、次式の信号ブロックにより示される。

【数22】

これら2つの式において、 $\eta = \delta * \frac{K}{\sqrt{2}}$ であり、 δ は単位色変調 $\hat{\delta}$ のスカラー量即ち大きさである。各信号ブロック \bar{s}_i は、値が $\pm \hat{\delta}$ である3つのベクトルのK×Kの配列であり、 $\underline{\delta} = \delta \bullet \hat{\delta}$ である。

信号ベクトルは従って $\underline{s}_0 = [\eta \ -\eta]^t$ 及び $\underline{s}_1 = [-\eta \ \eta]^t$ である。

【0033】基礎ベクトルの関数は、「基礎ブロック」として図式的に示されることが可能である。この図式表現は、基礎ベクトルが信号ブロックを形成するためにどのように結合されるかを示すために有用である。信号ブロックの機能特性は単に、それが色により区別される少なくとも2つの副領域から構成されることである。更なる必要条件は、信号ブロックが0の平均色差を有することである。つまり、出力信号ブロック内の全ての色の領域重み色平均、即ち、領域の総数により分割された出力信号ブロック内のそれぞれの領域により重みを付けられた色の和は、色変調を決定するために用いられる参照色（次の記号により示される）である。

【数23】

C

基底関数は、この条件に従うように定義されねばならない。

【0034】図15は、図2に示される信号ブロック32及び33を構成するために使用され、次の記号で示される2つの基礎ベクトルのセットを示す2つの基礎ブロック602及び604を含む。

【数24】

$$\bar{\phi}_0 \text{ 及び } \bar{\phi}_1$$

基礎ブロック602及び604は、4つの正方形の副領域を有するK×Kのカラー画像を定義する。この副領域の内の2つは色変調を有さないので、色差量は特定されず、このことは0により示される。各基礎ブロック602及び604の他の2つの副領域は、正の単位色空間方

向を有し、これは次の記号で示される。

【数25】

 $+\hat{\delta}$

(G)

基礎ブロック602及び604のそれぞれは、図示され*

$$\underline{s}_0 = \begin{bmatrix} +1 & -1 \end{bmatrix}' \leftrightarrow \vec{s}_0 = (+1)\vec{\phi}_0 + (-1)\vec{\phi}_1 \quad \text{及び}$$

$$\underline{s}_1 = \begin{bmatrix} +1 & -1 \end{bmatrix}' \leftrightarrow \vec{s}_1 = (+1)\vec{\phi}_0 + (-1)\vec{\phi}_1$$

これらの式において \leftrightarrow は、信号ベクトル及び信号ブロック間の連関を示す。

これらの信号ベクトルは、信号ベクトル内の係数を使用して一次元に重み付けされた基礎ベクトルの和を形成することにより、2つのユニークにパターン化され色変調された信号ブロックを定義する。図16及び17は、信号ブロック構成工程及び結果として得られる信号ブロック32及び33を示す。

【0035】図18は、別の1対の基底関数を図式的に表す2つの基礎ブロックの更に別の例を示す。基礎ブロック612及び614は、2つの矩形状の副領域を有するK×Kのカラー画像を定義する。これらの副領域の内※

$$\underline{s}_0 = \begin{bmatrix} +1 & -1 \end{bmatrix}' \leftrightarrow \vec{s}_0 = (+1)\vec{\phi}_0 + (-1)\vec{\phi}_1 \quad \text{及び}$$

$$\underline{s}_1 = \begin{bmatrix} +1 & -1 \end{bmatrix}' \leftrightarrow \vec{s}_1 = (+1)\vec{\phi}_0 + (-1)\vec{\phi}_1$$

信号ベクトル608及び610は、信号ベクトル内の係数を使用して一次元に重み付けされた基礎ベクトルの和を形成することにより、2つのユニークにパターン化され色変調された信号ブロックを定義する。図19及び20は、信号ブロック構成工程及び結果として得られる信号ブロック622及び623を示す。図19及び20の信号ブロック622及び623は、任意の高さ寸法を有する図13の1Dの信号ブロック632及び633に類似しているが、信号ブロック622及び623は符号化された画像内のK×Kのカラー画像であることに空間的に制限され、2Dの信号ブロックとして復号化されることに留意するべきである。

【0036】図21は、別の適切な副領域構造を有する1対の信号ブロック626及び627の例を示す。信号ブロック626及び627は、「0」及び「1」の可能な値を有するデータ項目を符号化する。各信号ブロックは、 $\pm\hat{\delta}$ の色変調を示す2つの副領域を有する。各副領域は、この2つの色変調を平均すると参照色である第3の色になり得るように、他方とほぼ同様の表面面積を有

*のように0及び上記(G)の記号によりラベル付けされた副領域から成るユニークな空間配列を有する。信号ベクトル608及び610は、次の数式のように定義される。

【数26】

※の1つは色変調を有さず、0により示される。各基礎ブロック612及び614内の他方の副領域は、上記(G)の記号により示される正の色空間方向を有する。

各基礎ブロック612及び614は、図示されるように0及び上記(G)の記号によりラベル付けされた副領域から成るユニークな空間配列を有する。図19及び20の信号ベクトル608及び610は、次の数式のように定義され、これらは図16及び17で定義されたものと同じ信号ベクトルである。

【数27】

する。

【0037】図22は、信号ブロック626及び627を構成するために使用される基底関数の対を図式的に表す2つの基礎ブロックを示す。基礎ブロック636及び637は、2つの異なった形状の副領域を有するK×Kのカラー画像を定義する。最も内部の副領域は、上記(G)の記号で示される正の単位色空間方向を有する。各基礎ブロック636及び637内の他方の最も外側の副領域は、色変調を有さず、このことが0で示される。

40 各基礎ブロック636及び637は、図示されるように0及び上記(G)の記号によりラベル付けされた副領域から成るユニークな空間配列を有する。図23及び24の信号ベクトル608及び610は、次の数式のように、図16と17並びに図19と20で定義されたものと同じ信号ベクトルであり、これらは信号ベクトル内の係数を使用して一次元に重み付けされた基礎ベクトルの和を形成することにより、2つのユニークにパターン化され色変調された信号ブロックを定義する。

【数28】

19

$$\underline{s}_0 = [+1 \ -1]' \leftrightarrow \vec{s}_0 = (+1)\vec{\phi}_0 + (-1)\vec{\phi}_1 \quad \text{及び}$$

20

$$\underline{s}_1 = [+1 \ -1]' \leftrightarrow \vec{s}_1 = (+1)\vec{\phi}_0 + (-1)\vec{\phi}_1$$

図23及び24は、信号ブロック構成工程及びその結果として得られる信号ブロック626及び627を示す。

【0038】上述された信号ブロックの例によって理解され得るように、信号ブロックの色変調された副領域のサイズ及び形状によって形成されるパターンは、基底関数により決定され、多様な構造が取られ得る。図25、26及び27は、更に別の可能な色パターン構造を示す。信号ブロックの基底関数は、上述の例に示された大きな、一定の色を有する副領域に代わって、滑らかに変化する色変調を伴う小さい副領域から成るセットを提供し得る。滑らかに変化する色変調を伴う小さい副領域は、色空間内の色空間方向に沿っての参照色からの偏差の大きさが、一定のままであるのとは対照的に、離散的なサンプルポイントで変化することを基底関数が特定する場合に生成される。図25は、次の記号で示される色空間方向の値を提供する2つの正弦曲線653及び654のグラフ650及び652を示す。

【数29】

$$\hat{\delta} \quad (H)$$

黒い小円は、グラフ上のデータポイントを表し、データポイント660及び654が具体的な例として取り上げられている。図26は、参照色663を含む色空間方向670と共に3Dの色空間50を示す。参照色663の右側の色は、次の(I)の記号で示される方向への変調であり、図25のグラフ652からの色662を含む。

【数30】

$$+\hat{\delta} \quad (I)$$

参照色663の左側の色は、次の(J)の記号で示される方向への変調であり、図25のグラフ650からの色660を含む。

【数31】

$$-\hat{\delta} \quad (J)$$

グラフ650及び652上のデータポイントは、色空間方向670に沿っての参照色からの偏差の大きさの多様な範囲を提供することが理解されるであろう。上述の例で使用されるタイプの信号ベクトルと共にその関数を実行する基底関数は、図27に示されるタイプの小さく、滑らかに変化する副領域を有する信号ブロックを生成する。これらは正規直交する基底関数のセットの一次結合であるという条件を満たし、更に本発明のコンテキストの範囲内で設計され得る広範囲の信号ブロックを示すの

で、これらは有効な信号ブロックである。また、直交する空間次元での正弦変化を伴う基底関数もまた、信号ブロックを定義するのに適していることに留意すべきである。

10

【0039】ここまで例示され、記述された信号ブロックは、例えば2進コード体系における「0」及び「1」のシーケンスとして表現されるデータの符号化で役立つような1対のメッセージデータ値の符号化を実施する。ここまで例示され、記述された各信号ブロックは、コード体系で許される2つのデータ値の1つを符号化することにより1つのメッセージデータ項目を符号化する。この符号化は、(1) 単一の色空間方向における参照色の周辺に上記(H)の記号で示される单一の色変調を表す1対の正規直交する基底関数を定義することと、(2) 単一の色空間方向における参照色の周辺に、上記(H)の記号により示される単位色変調の振幅δを表す、1対の信号ベクトルに定義される重みを有する直交する対を使用することと、により達成される。ここで、例えば、上記(I)の記号で示される色変調から成るユニークな空間パターンを示す図15の基礎ブロックにより示される1対の基底関数に再度言及する。図16及び17の信号ベクトル608及び610は、次式に示されるように一次元に重み付けされた基底関数の和として定義され、

20

従って2進コード体系で表現されるデータの符号化で使用される2つのユニークな信号ブロック32及び33を定義する。

【数32】

$$\underline{s}_0 = [+1 \ -1]' \quad \text{及び}$$

$$\underline{s}_1 = [-1 \ +1]'$$

40 次の数式で示される更に2つの信号ベクトルが、図15に示される基底関数のために理論上定義され得ることに留意すべきである。

【数33】

$$\underline{s}_2 = [+1 \ +1]' \quad \text{及び}$$

$$\underline{s}_3 = [-1 \ -1]'$$

50 これらの信号ベクトルは、参照色からの+ $\hat{\delta}$ の色変調を

有するソリッドカラーの信号ブロックと、参照色からの
—δの色変調を有するソリッドカラーの信号ブロックと
を生成し、これらはどちらも信号ブロックの定義を満た
さないか、又は符号化目的のために特に有用でない。また、信号ブロック32及び33では、基底関数に正(+1)及び負(-1)の両方の重みを使用することが、基
底関数が上記(I)の記号で示される单一の色変調に関
してのみ定義される場合に、結果として参照色の周囲で
单一の色空間方向での上記(I)及び(J)の2つの記*

$$\underline{s}_0 = [+1 \ -1]^t : \underline{s}_1 = [-1 \ +1]^t : \underline{s}_2 = [+1 \ +1]^t : \text{及び } \underline{s}_3 = [-1 \ -1]^t$$

図28から32は、この符号化の実施例を示している。
図28は、それぞれユニークな空間パターンで配置さ
れ、上記(I)及び(J)の記号で示される両方向に変
化する色変調を有する基底関数を例示する基礎ブロック
642及び644を示す。図29から32は、4つの可
能な信号ベクトルによって一次元に重み付けされた基底
関数の和として生成される4つのユニークな信号ブロ
ック656、657、658及び659を示す。信号ブロ
ック656、657、658及び659はそれぞれ、色
で区別される少なくとも2つの副領域から構成される。
これらの信号ブロックのそれぞれの第1色を有する副領
域の総表面積は、第2色を有する副領域の総表面積とほ
ぼ等しいことがわかり、従ってそれぞれが先に定義され
た信号ブロックの機能要件／関数の条件を満たす。本実
施例のための次の2つの記号により示される2つの基礎
ベクトルを表す行列は、上述の方程式(1)及び(2)
から簡単に導き出されるので、ここでは省略する。

【数35】

δ 及び μ

【0041】4つのユニークな信号ブロックを有すること
は、メッセージデータ項目を2つの明確に異なる方法
で符号化することを可能にする。2進コード体系にお
ける2進データ値は、例として図33の符号化の実施66
0で示されるように、单一の信号ブロック内で複数のメ
ッセージデータ項目を符号化するためにユニークな対に
結合され得る。これに代わって、例として図34の符号
化の実施662で示されるように、4つのユニークな信
号ブロックが、4つのユニークなデータ値を有するコード
体系で表現されるメッセージデータを符号化してもよ
い。

【0042】図15から17に示される符号化（即ち、
2値コード体系で表現されるメッセージデータの符号
化）及び図28から34に示される符号化（即ち、4値
コード体系で表現されるメッセージデータの符号化又は
单一の信号ブロック内の多数のメッセージデータ項目
の符号化）の実施はどちらも、更に拡張され得る。第1
の色空間方向に次の(K)の記号で示される色変調を有
する信号ブロックに加えて、次の(L)の記号として示
される一対の第2の色変調が、信号ブロックの参照色の

*号で示される両方向に変化する色変調をもたらすことが
確認され得ることに留意すべきである。

【0040】基底関数に上記(J)の記号で示される第
2の色変調を、参照色の周囲で单一の色空間方向に導入
することにより、丁度4つのユニークに重み付けされた
上述の基底関数の変形を有する信号ベクトルを定義する
ことによって、次式で示される4つのユニークな信号ブ
ロックから成るセットが生成され得る。

【数34】

$$\underline{s}_0 = [+1 \ -1]^t : \underline{s}_1 = [-1 \ +1]^t : \underline{s}_2 = [+1 \ +1]^t : \text{及び } \underline{s}_3 = [-1 \ -1]^t$$

周囲で次の(M)の記号に直交する第2の色空間方向に
特定され得る。

【数36】

$\pm \hat{\delta}$	(K)
$\pm \hat{\mu}$	(L)
$\hat{\delta}$	(M)

基底関数、信号ベクトル及びユニークにパターン化され
た信号ブロックに関する先に紹介された概念の全ては、
第2の色空間方向における色変化を含むように簡単に拡
張される。この符号化の実施は図35から39に例示さ
れる。図35は4つの基底関数をそれらの図式的な基礎
ブロック表現682、684、642及び644により
例示されるように示す。基底関数642及び644は、
図28に例示される基底関数と同一であり、第1の色空
間方向における色変調を表す。基底関数682及び68

4は、第2の、直交する色空間方向における色変調を表
す。図36は、基底関数への重み付けの変化を使用して
ユニークにパターン化される信号ブロックを定義する信
号ベクトルのセット688を例示する。4つの基底関数
682、684、642及び644は、計16個の信号
ブロックが定義されることを可能にする。図37及び3
8は、信号ブロック692及び696がそれぞれ次の記
号によって示される信号ベクトルからどのように定義さ
れるかを例示し、図39は信号ベクトルのセット688
から生成される16個のユニークにパターン化される信
号ブロックのセット698を例示する。

【数37】

s₀ 及び sₙ

信号ブロックのセット698内の信号ブロックの幾つか
又は全ては、16個までの値を有するコード体系で符号
化されたデータを表す单一のメッセージデータ項目を單
一の信号ブロック内で符号化するために図33及び34
で示される方法に類似の方法で使用され得、又は他のコ
ード体系のための单一の信号ブロック内で多数のメッセ
ージデータ項目を符号化するために使用され得る。

【0043】符号化の目的が実質的に知覚不能な符号化データを生成することである場合に、第2の色空間方向は、算出された第1の色空間方向に直交する全ての可能な色空間方向の中で2番目に最適な直交する色空間方向になるように算出されることに留意すべきである。

【0044】上述されたあらゆる実施例に従った符号化で使用されるはずの信号ブロックを設計する際に、考慮すべき相互関連する要素が3つ存在する。これらは、マーキングデバイスの物理的な制約、符号化された画像において知覚される歪みを最小にする要望、及び符号化された画像からメッセージを回復（即ち、復号化）するための機能である。

【0045】例において定義されたような信号ブロックの重要な特徴は、次の記号で示される入力色がデータ値を符号化するために選択された信号ブロックの空間パターンに従って変調される場合に、画像にはほとんど又は全く知覚される色の歪みが存在しないように、ゼロ（0）の平均色を有するようにそれらが設計されることである。

【数38】

(N)

これにより、信号ブロックを含んで構成される異なる色を有する副領域は、カラープリンタ等の特定のマーキングデバイスによって正確に生成されるのに十分大きくなければならないという、符号化技術を上手く使用するための実践的な要件がある程度存在する。従って最終的には、本明細書に記載されるあらゆる実施例における信号ブロック及びその構成要素である副領域の実際のサイズが、マーキングデバイスの解像度の限界の閾値である。

【0046】マーキングデバイスの物理的限界に従って、信号ブロック内の固定色から成る異なる色を有する副領域の空間周波数を増大させること、並びにそれにより副領域のサイズを縮小させることができが好ましい。色変調された副領域の空間周波数の増大は、見る人への信号ブロックの可視性を減少するのに役立ち、従って、原理的にはS/N比を低下させることなく、画像における知覚的な歪みを最小にする。図40は、図2の信号ブロック32及び33の変形であって、それぞれが色変調された副領域のより高い空間周波数を有する信号ブロック702及び704を例として示す。信号ブロック702及び704は、図4で信号ブロック32及び33が使用されるのと同様の方法で、図4のメッセージ配列22でメッセージを符号化してメッセージ画像Mを生成するために、信号ブロック32及び33に代わって使用され得る。

【0047】しかしながら、信号ブロックのサイズを増大せずに信号ブロック内の副領域の空間周波数を高くすることは、復号化を複雑にし得る。信号ブロックのサイズを増大すること、並びにそれと同時に副領域の高空間周波数を維持することは、知覚可能な画像の歪みをこれ

までどおり最小にする一方で、復号化目的のためのS/N比を上昇させるはずである。しかしながら、実質的に正方形の副領域を生成するこれらの実施例における基底関数の使用は、画像にこれまで無かった高周波数をもたらすことともまた考慮しなければならない。図25から27の正弦曲線の実施例等のより滑らかな基底関数は、変化の大きさがブロックの境界でゼロになる副領域を生成し、従って画像にエッジをもたらさない。実施する人は、実施する特定のアプリケーションのための最適なバランスを見出すためにこれらの3つの要素を使って実験する必要があるであろう。

【0048】符号化演算中に出力信号ブロックに変調された色を正確に生成するマーキングデバイスの能力、及び復号化演算中に信号セル内の変調された色を正確に検出するデジタル画像捕捉デバイスの能力は、デバイスの色較正の問題である。本明細書に記載される符号化及び復号化演算の実施目的のためには、非常に経験的な方法でスキャナ及びプリンタの較正が成された。離散されたRGB色空間のK色から成る小さなサブセットごとに、20 プリンタに送信されたRGB値とスキャナにより感知されたRGB値とをマッピングして四面体補間によるルックアップテーブルが構成された。K色のそれぞれのnサイズの隣接領域の離散サンプリングは、nK個の離散色から成る目的色をプリント及び走査することにより構成された。

【0049】所定のスキャナの応答を得るために、双方向テーブルが使用され、どのRGB値がプリンタに送信されるべきかが決定された。この経験的な較正手段は、色変調への人間の反応を考慮していないことに留意すべきである。これを考慮するには、プリントされた色の分光特性をより慎重にモデリングすることが必要とされるであろう。

【0050】ここまでに示された図（例えば、図2、27、33、34及び39）における信号ブロックの例示は、信号ブロックが色変調土のユニークなパターンであることを示す。このように信号ブロックを例示することは、信号ブロックの2つの固有の特徴、即ち、メッセージデータ値を表すユニークな空間（スカラー）変調パターンと目的色、即ち参照色の色変調を制御する色空間方向ベクトルとを混合する。色変調は、出力信号ブロックがその全体の平均色として目的色を有することをもたらし、それによりメッセージ値を保持するユニークな変調パターンを本質的に見えなくする。本発明の更なる理解のために、メッセージ値を保持する信号ブロックのユニークな空間変調パターンを、メッセージを隠す目的のために参照色に適用される色変調から明白に区別する第2のタイプの信号ブロックの例を考察することは有用である。図41は、スカラーの（例えば、±1の）ユニークな空間信号パターン333として変調パターンデータ構造333を示す。変調パターン333は、出力信号ブ

ロックカラー画像の次元サイズを定義する。スカラーのパターンは、変調された色の出力信号ブロックカラー画像内の画像位置を示す。スカラーはそれぞれ、次の記号により示される単位色空間方向ベクトル336及び振幅(規模)スカラー338、 δ により乗算され、その結果は次に、符号化された画像に出力信号ブロック330を生成するために上記(N)の記号で示される入力参照色に加算される。

【数39】

$\hat{\delta}$

単位色空間方向336等のベクトルにより掛け算されるパターン333等のスカラーの配列は、出力信号ブロック330の形式で画像領域を生成するために上記(N)の記号で示される入力参照色が加算され得るベクトルの配列をもたらす。変調パターン333を用いる演算により作り出される出力信号ブロック330は、図2に例示される信号ブロック33を目的色と結合し、信号ブロックの副領域内の色をそれに応じて変調する演算により作り出される図9の出力信号ブロック85と等価である。

【0051】図42は、この方法で説明される出力信号ブロックを作り出すために必要な符号化演算のブロック図400を示す。ブロック図400は、符号化演算の別の実施の一形態を例示し、これは図3及び5に示される実施の形態の変形である。演算420は、入力としてメッセージデータ項目値及び有効な変調パターンのセットを受信し、メッセージデータ値を表すために適切な変調パターンを選択する。演算410は、入力として参照色を受信し、色空間方向及び参照色の変調の振幅を任意の適切な方法を用いて算出する。信号ブロックの符号化が、固定され一定の色空間方向ベクトル及び振幅を使用して実行される場合、演算410は色空間方向を計算する必要がなく、この演算は空演算であるか又は単にその固定された色空間方向に戻し得ることに留意すべきである。演算430は、演算410及び420の出力を結合し、選択された変調パターン内の指定された色空間方向及び振幅に応じて入力参照色を変調することにより、図41に例示されるような出力信号ブロックカラー画像を生成する。参照色がメッセージデータが埋め込まれる画像の画像領域から派生している場合、出力信号ブロックは、符号化された画像を生成するために画像領域に配置されるか、又は画像領域に置き換わる。この同様の構成は、基礎ブロックにも適用されることに留意すべきである。

【0052】図42において、演算410は、任意の入力として信号ブロック変調パターンを示す。これは、変調パターンが参照色変調の色空間方向及び振幅の算出に影響を及ぼし得るからである。例えば、変調パターンの空間周波数が増加し、信号ブロック内の個別に色変調される領域が縮小する場合(例えば、図40の信号ブロッ

クを参照のこと)に、人間の目は、信号ブロック内のように小さい色変調される領域に対しては、画像領域が大きい場合よりも鈍感である。色空間方向の算出のための処理は、この空間周波数を考慮し、復号化目的のためにスキヤナによって最適に検出されることが可能な色変化をもたらす色空間方向及び振幅の算出に、より重点をおくことが可能である。

【0053】演算400が、例えば図39の信号ブロックの例等の2つ以上の色空間方向を使用して信号ブロック

- 10 シグナル化を実施する場合に、演算420はメッセージデータ値を複数の要素を有するものとして扱い、各要素ごとに信号ブロック変調パターンを選択する。演算410は次に、入力参照色を使用して、複数の直交する色空間方向を算出する。演算430は、選択された信号ブロック変調パターンのそれぞれを算出された色空間方向と結合して信号ブロックを形成し、これらの信号ブロックは次に、単一の出力信号ブロックを形成するために更に結合される。例えば、図39の16個の値を有するコード体系は、2つの色空間方向を用いてデータの4ビットを20 符号化する。入力メッセージデータ値は、2ビットの要素部分で4ビットのメッセージとして処理され、信号ブロック変調パターン及び色空間方向は各部分ごとに算出される。

- 【0054】復号化の検討のために、新たな用語が導入される。「取得画像」は、画像データ構造であり、これは上述の演算に従って信号ブロックにより符号化された画像、並びに符号化済み画像をプリントしたものを処理するデジタル画像捕捉デバイスにより生成された画像を意味する。取得画像において、符号化された信号ブロックである画像領域は、デジタル画像捕捉処理の出力として識別されるように、そして符号化処理の結果として生成される出力信号ブロックとは区別されるように、「信号セル」と呼ばれる。信号セルは、色変調された画像領域を含み、平均色を有するカラー画像である。

「受信信号ブロック」は、有効な信号ブロックとして識別され、平均色をそこから減算されて色差量(色変調)のパターンを残す信号セルである。

- 【0055】取得カラー画像内の信号セルを復号化することもまた、通信理論の古典的なベクトルチャネルの公式化に従う。この後に記述される信号セルの復号化に関する数学的枠組の論議は、各信号セルの位置及びサイズが予め定められ、局所的な平均色が各既知の信号セルから減算され、結果としてパターン化された色変調を有する一連の受信信号ブロックのみが残ると推測する。取得画像内の信号セルの位置及びサイズがどのように決定されるかが、以下で詳細に記載される。明白な理論上の復号化問題は、各受信信号ブロックごとに、有効な信号ブロックのセットの内のどの信号ブロックが、特定の局所的な画像領域内でオリジナル画像を変調するために使用されたかを判断することである。

27

【0056】次の記号で示される受信信号ブロックは、付加的なガウスノイズにより劣化することが推測される信号ベクトルである。

【数40】

$$\vec{r}[m,n] = \vec{s}[m,n] + \vec{n}[m,n] \quad (8)$$

28

 $\vec{r}[m,n]$

即ち、次式(8)のように示される。

* 【数41】

受信信号ベクトル及びノイズ信号ベクトルは、それぞれ
次に示される式により与えられる。 * 【数42】

$$\underline{r} = [r_0 \ r_1 \ \dots \ r_{N-1}]^T \in \Re^N \text{ 及び } \underline{n} = [n_0 \ n_1 \ \dots \ n_{N-1}]$$

この式において受信信号ブロックの j 番目の係数は、次
式(9)により導き出され、 n_j に関しても同様である ★ 【数43】

$$r_j = \sum_{m=0}^{K-1} \sum_{n=0}^{K-1} (\vec{r}[m,n])^j \varphi_j[m,n] \quad (9)$$

信号ブロックの数学的表現に関する上述の説明で既に示されたように、信号ブロックは信号ベクトルとしても表現される。復号化のためのこのベクトル公式化の利点は、復号化のためのソフトウェアの実行が全て、信号ベクトルの定義域内で処理されることによって容易になり、古典的な最大事後確率受信公式化を使用して、次の(O)で示される記号を(P)で示される受信ベクトル☆

$$x \sim N(\bar{x}, \sigma_x^2) \text{ は、 } x \text{ が平均 } \bar{x} \text{ 及び偏差 } \sigma_x^2 \text{ のガウスランダム変数}$$

(又は(正規確率)過程)であることを示すこととする。

ピクセルノイズはゼロ平均であり、非相関であり、付加的なガウスノイズであり、次の(Q)の記号により示される信号ブロックとは無関係であると仮定する。

【数46】

$$\underline{s}_i \quad (Q)$$

復号化されるべき入力画像データを生成するデジタル画像捕捉デバイスは、次式により示される色ベクトルを各センサ位置(ピクセル)に作り出す2Dの画像センサ配列である。

【数47】

$$\underline{c} \in \Re^3$$

更に、ガウスノイズが各カラーチャンネルに付加され、このノイズは各ピクセルごとに独立しており、同様に分散

$$\hat{m} = m_i \quad (R)$$

☆から最適に推定する。

【数44】

$$\underline{s} \quad (O)$$

$$\underline{r} \quad (P)$$

【0057】

【数45】

20

30

されると仮定する。これは、次の記号で示されるノイズの要素が $3 K^2$ とは無関係な、同様に分散された要素から構成されることを意味する。

【数48】

R

次の記号で示される各要素は3Dのノイズベクトルであり、これらの3つの要素はランダム関数 $n \sim N(0, \sigma^2)$ である。

【数49】

$$\vec{n}[i, j]$$

【0058】この例では、次の(R)のメッセージ記号が、次式(10)が全メッセージにわたって最小である場合に送信されたことが示され得る。

【数50】

$$(\underline{r} - \underline{s}_i)^T (\underline{r} - \underline{s}_i) - 2\sigma^2 \ln P[m_i] \quad (10)$$

この式において、 $P[m_i]$ は、メッセージ記号 m_i が送信されたことの事前確率である。

2つの離散信号ブロックのみが存在する場合、次の2つ
の記号で示される等しく同様な等エネルギー信号にと
てメッセージ記号が送信されたことの事前確率は1/2
である。

【数51】

$$\underline{s}_1 \text{ 及び } \underline{s}_0$$

このことは、次の記号で示される受信ベクトルに最も近
い上記(Q)の記号で示される信号ベクトルの発見を縮
めることに留意すべきである。

【数52】

$$\underline{r} \quad (S)$$

この(S)の記号で示されるベクトルの公式化から当然
の結果として、(S)の記号で示される受信ベクトルに
最も近い上記(Q)の記号で示される信号ベクトルを見
つけることは、次の式で示される点乗積の最大値を求
めることを意味する。

【数53】

$$\underline{r}^t \underline{s}_i$$

また、次の式に留意すべきである。

【数54】

$$\underline{r}^t \underline{s}_i = \sum_{m=0}^{K-1} \sum_{n=0}^{K-1} (\bar{r}[m,n])^t \bar{s}_i[m,n]$$

即ち、受信信号ブロックから送信信号ブロックを推定す
る最適な方法は、有効な信号ブロックのそれぞれと、受
信信号ブロックとして識別された画像領域との相関を算
出することである。受信信号ブロックと最も強く相関す
る信号ブロックは、送信信号ブロックになるように決定
される。

【0059】図43は、図1に例示され上述された符号
化技術に従って信号ブロックにより符号化された画像か
らメッセージを復号化するための復号化演算800の一
般的なブロック図である。関数を2つの演算820及び
890にグループ化するのは一般的な例示目的のためだ
けであり、ソフトウェアのサブルーチンのいかなる特定
の実施を提案するものではないことに留意すべきであ
る。これらの関数の特定のソフトウェアでの実施は、3
つ以上の関数を有してもよく、また図43に示されるも
のとは異なるように関数をグループ化してもよい。紙等
のマーキング媒体上に表示された符号化済み画像（例え
ば、図5の画像80又は図10の画像88）は、取得画
像、IA、802と呼ばれる符号化済み画像の画像デ
ータ構造を生成するためにドキュメントスキャナ等のデジ
タル画像捕捉デバイスにより処理される。信号セルの実
際の復号化の前に、取得画像802における信号セルの
位置及びサイズを決定することが必要である。処理82
0は、幾つかの要素から成る処理で構成されているが、
信号セルの位置合わせ及び同期調整と呼ばれる。第1

に、復号化前のプリント及びそれに続く走査の間に、信
号セルは画像のエッジと位置がずれた状態になり得る。
また、信号ブロックがオリジナルの符号化画像において
K×Kであっても、取得画像内の信号セルのスケール
(尺度)は異なり得る。従って、信号セルの配向（オリ
エンテーション）及びスケールは決定されなければならない。
この処理は一般に、信号セルの「位置合わせ」と
呼ばれる。

【0060】信号セルの配向及びスケールが識別され
ると、信号セルの位置を決定することが必要である。2D
の信号ブロックの符号化に関する上述の説明で記された
ように、符号化済み信号ブロックは、オリジナルのカラ
ー画像上に重ねられる（例えば、追加的に組み合わせられ
る）格子を形成するように見られることができる。

「信号格子」は、取得画像802内の信号セルがそれを
中心として配置される、格子線の想像上の枠組と定義さ
れる。出力信号ブロックの一群が画像内でエッジとエッ
ジを付き合させて配置される場合、取得画像内の固定色
を有する副領域を見つけることは比較的簡単であるが、

20 副領域を有効な信号ブロックにグループ化することは簡
単ではない。例えば、図4のメッセージ画像Mで観察さ
れ得るように、符号化済み画像内の信号ブロックの並置
は、多様な副領域パターンを形成することが可能である
ので、予期される信号ブロックの形状を形成する隣接す
る副領域のあらゆるセットが信号セット内で有効な信号
ブロックであると推定することはできない。従って、取
得画像内のどちらかの方向への副領域の幅での翻訳（並
進）シフトのために、信号ブロックとは「位相外れ」と
なることがある。従って、復号化演算820にとって重
要な処理は、信号セルを信号格子と同期させることであ
る。一般に、これは最少の無効信号ブロックを伴う位相
シフトを見つけるために信号格子の可能な位相シフト全
てを分析することにより達成される。取得画像内にエラ
ー及びノイズを有していても、信号格子が取得画像内に
符号化された実際に受信された信号ブロックと位相外れ
である場合、分析処理は多数の無効な信号ブロックを検
出するであろう。

【0061】図44及び45は、復号化処理における信
号セルと信号格子との同期の重要性を示す。図44は、
40 図2から10に示される実施例を用いてメッセージを符
号化する信号セルの集合804を有する取得画像802
を示す。信号セルの集合804は、破線内で信号格子8
05と正確に同期される。即ち、集合804内の各信号
セルの中心は、黒い円により表されるように格子点上に
置かれる。各信号セルは図2の信号ブロック32及び3
3の内の有効な信号ブロックであることが、信号セルの
考察から理解され得る。図44に示される同期を図45
に示される同期と対比させる。同期処理が、図示される
ように信号格子805を配置されることであるならば、
50 集合804において少なくとも信号セル808は、図2

の信号セット内の無効な信号ブロックであることが理解され得る。

【0062】取得画像802内の各信号セルは、ユニークな信号ブロックパターンに従って、オリジナルカラー画像内のその画像領域のための局所的な色から変調された色を有する副領域を伴う、信号セット内の有効な信号ブロックである。取得画像802を復号化する目的においては、信号セルにより占められた領域の局所的な画像の色は、ノイズとして目にされ得る。復号化するためには必須なのは、 $\pm \delta$ （及び、適切な場合は $\pm \mu$ ）変調のパターンである。従って、信号セルの位置及びサイズが識別されると、信号セルにより占められる各画像領域ごとの局所的平均色は、信号セルから減算され、色変調のパターンを有する受信信号ブロックのみが残る。信号セルが信号格子と同期を取られ、各信号セル内で局所的な平均色が減算されると、図46で842と表示される取得画像802内の各受信信号ブロックの位置及びサイズは識別され、復号化処理の次の工程で利用可能となる。

【0063】信号ブロックの識別は処理ボックス890で続けられる。信号セット内の各有効な信号ブロックは、それぞれのユニークなメッセージ値と対にされる。取得画像802内の各識別された受信信号ブロックは、取得画像802内に現れることが予期される信号セット内の有効且つ既知の信号ブロックのそれぞれと相関される。取得画像802内の各信号ブロックが識別されると、その信号ブロックが符号化するそれぞれ対にされたメッセージ値が決定され、最終的な回復メッセージ898の一部としてメモリに格納される。

【0064】取得画像のスケール及び配向が既知でない場合、画像から歪みを取るため、及び画像のスケールを調べるために従来の画像処理技術が使用され得る。これらの従来技術は通常、走査された画像の縁等の外部のドキュメント基準点が利用可能であることを必要とする。このような確かな基準点又は境界標が利用可能でない場合、符号化された取得画像のフーリエ変換の高周波数の要素を分析することにより、信号格子の配向及びスケールを調べることが可能である。エネルギーの強さの頂点は、2つの直交する空間方向における信号格子周波数の倍数で予期される。平均色減算処理は信号セルの寸法が既知であることを必要とするので、取得画像のスケールを調べることは、適切な復号化処理にとって重要である。以下の論議では、取得画像のスケールは、信号セルが $K \times K$ カラーセルであると仮定する。

【0065】取得画像内で信号格子を調べる処理は、図46の演算850のフローチャートで示されるように進められる。処理ボックス852において、相関画像は、取得画像内で復号されるべき各ユニークな信号ブロックごとに算出される。相関画像は、取得画像内の各位置を中心とする画像領域と第1のユニークな信号ブロックとの相関（即ち、その内積）を示す。それぞれのユニーク

な信号ブロックには、1つの相関画像が存在するであろう。これらの相関画像のそれぞれにおいて、取得画像が相関している信号ブロックを含む位置では高い値となるであろう。他の相関画像における同じ位置では、他の信号ブロックが存在しないので、その値は低いであろう。全ての信号ブロックの位置を調べるために、最大相関画像と呼ばれる画像が処理ボックス854で生成され、これは各画像位置ごとに、その位置での全相関画像の最大値を含む。上記のどおり、信号セルはそれぞれ、10 その間隔が $K \times K$ のカラーセルである信号格子上の点に中心を置かれる。しかしながら、格子の起点の位置は不明であるので、 $K \times K$ の「位相シフト」の内のどれが、信号格子を信号セルの中心の実際の位置に位置を合わせるかを調べることが必要である。処理ボックス860では、最大相関画像における最初の開始位置又は起点からのオフセット（ずれ）として示される最初の「位相シフト」が仮定され、最大相関画像内の各格子位置は、それの相関が仮定された信号格子における信号セル位置として可能であるか検査される。試験フィルタは、正確な信号格子位相シフトを識別するために設計され、試験値は、仮定された信号格子内の全ての位置から算出される。処理ボックス860での試験は、取得画像内の信号格子の全ての可能な仮定される位相シフトに対して処理ボックス864で繰り返される。予期される試験基準を最適に満たす信号格子位相シフトは、実際の信号格子位相シフトとして処理ボックス868で選択され、取得画像内の信号セルの位置842を産出する。

【0066】信号格子を例示された実施の形態で配置するに使用される提案された試験フィルタが以下で説明される。信号ブロックが取得画像内の信号セルを中心として配置されると、その内積値は $\pm K^2 \delta^2$ になると予想されるであろう。従って、真の格子点（即ち、信号ブロックの中心）である最大相関画像内の全画像位置で最大の相関画像の値から $K^2 \delta^2$ を減算すると、正確に仮定された格子位置に対しては低い値をもたらす。従って、全格子位置にわたるこの差の二乗の合計を最小にする格子オフセット又は位相シフトが、信号格子を位置決めする。

【0067】直ちに明らかにはならないであろう取得画像内の受信信号セルと信号格子を同期させることには名状し難い点が存在することに留意すべきである。取得画像内のあらゆる所定画像領域に対して、どの信号ブロックが存在するかを判断するために、信号ブロックが占める画像領域の局所的な平均色を減算する必要があるが、信号格子が有効な信号ブロックと同期されない限り、その画像領域のための正確な局所的平均色を真に正確に決定することはできない。デジタルフィルタは、局所的画像平均を算出するため及び減算するため、更にその結果を有効な信号ブロックのセットと相關させるために設計され得る。

40 50

33

【0068】このフィルタ設計及び同期演算850におけるその使用は、以下に数式で説明される。次の(T)で示される記号を取得画像とする。

【数55】

$\bar{s}[m,n]$

(T)

$$\bar{s}'_k[m,n] = \sum_{i=-K/2}^{+K/2} \sum_{j=-K/2}^{+K/2} \bar{s}[m-i, n-j] a[m,n] \quad (11)$$

次の記号(U)で示される画像内の各点は、上記(T)の記号により示される取得画像内の対応する点を中心とする領域の平均である。

【数57】

$\bar{s}'_k[m,n]$

(U)

$$\bar{s}[m,n] \quad (V)$$

$$\bar{M}_l[m,n] = \sum_{i=-K/2}^{+K/2} \sum_{j=-K/2}^{+K/2} (\bar{s}_l[i,j])^2 \bar{s}[m-i, n-j] \quad (12)$$

次の記号(W)で示される信号ブロックセットが上記(T)の記号により示される取得画像内の信号セルを中心として配置されると、この領域と取得画像との内積値は、 $\pm K^2 \delta^2$ となることが予期される。

【数59】

$\bar{s}_l[i,j]$

(W)

$$\star \sum_m \sum_n \left[\left(\max_l \{\bar{M}_l[m+u, n+v]\} \right) - K^2 \delta^2 \right]^2 \quad (13)$$

一定の矩形の副領域から構成される核との相関は、取得画像の2Dの累和を用いて効率的に実施されるべきである。

【0069】取得画像内の信号格子が一旦配置されると、画像内に生じる信号セルの位置は既知となる。そうなると、どの信号ブロックが各信号セルで発生するかを識別することが可能となる。信号セルの識別は、各信号セルごとに、局所的な平均色が信号セルから減算され、結果として各格子位置で色量の異なる副領域を有する受信信号ブロックをもたらす。受信した信号ブロックのそれぞれが、信号セット内のどの信号ブロックであるかを決定するために、予期される信号セット内の各有効な信号ブロックと取得画像内の各受信信号ブロックとの内積(点乗)積が算出される。最も高い値を有する受信信号セルと信号セット内の各有効な信号ブロックとの内積が、その位置で符号化された有効な信号ブロックを識別する。識別された信号ブロックと対にされたメッセージ値は、その後、回復メッセージ898(図43)を構成するためのメッセージデータ構造に格納するために利用可能である。復号化技術のアプリケーションの多くにおいて、信号セルは、メッセージ値が、受信信号ブロック

20 ★従って、信号格子は、次式(13)を最小にするオフセット(u, v)、 $u, v \in [-K/2, +K/2]$ を探すことにより取得画像内の信号セルと同期を取られることが可能である。

【数60】

30 から復号され予期された順に配置された時にメッセージを形成するように、取得画像内に予期された順に配列されるであろうことに留意すべきである。予期された順に配列された時に、全信号セルから復号されたメッセージ値は、取得画像に符号化されたメッセージを生成する。しかしながら、復号化技術の使用に際して、信号セルがいずれかの予期された順に配置されるべきであるという条件は存在しない。

【0070】信号セットのサイズ(即ち、信号ブロック数)が基礎ベクトルの数よりも非常に大きい場合、信号40 セル内の符号化された信号ブロックの識別は、受信信号ブロックと基礎ベクトルとの間の直接的な相関を調べることによってより効率的に達成される。従って、例えば、4つの基礎ベクトル、即ち基礎ブロックが存在する場合に、これらは図39に示されるように計16個の信号ブロックを生成する。各受信信号ブロックごとの受信信号ベクトルは、受信信号ベクトルの係数を産出するために各受信信号ブロックと4つの基礎ベクトル(即ち、4つの基礎ブロック)のそれぞれとの点乗積を計算することにより算出されることができる。次に、受信信号ブロックのそれぞれごとの受信信号ベクトルと次の記号に

34

* a[m, n]を定数 $1/K^2$ の $K \times K$ 核であり、起点に関して対称であることとする。次式(11)が上記(T)の記号により示される取得画像と a[m, n]との相関であることとする。

【数56】

$$\star \quad (11)$$

※次の記号(V)で示される信号ブロックセットはその後、取得画像内の信号ブロックの存在を検出するため10 に、上記(U)の記号との相関をもたらされるが、信号ブロックはゼロ平均色0を有するので、これは次式(12)の相関に等しい。

【数58】

$$\star \quad (12)$$

20 ★従って、信号格子は、次式(13)を最小にするオフセット(u, v)、 $u, v \in [-K/2, +K/2]$ を探すことにより取得画像内の信号セルと同期を取られることが可能である。

【数60】

30 から復号され予期された順に配置された時にメッセージを形成するように、取得画像内に予期された順に配列されるであろうことに留意すべきである。予期された順に配列された時に、全信号セルから復号されたメッセージ値は、取得画像に符号化されたメッセージを生成する。しかしながら、復号化技術の使用に際して、信号セルがいずれかの予期された順に配置されるべきであるという条件は存在しない。

【0070】信号セットのサイズ(即ち、信号ブロック数)が基礎ベクトルの数よりも非常に大きい場合、信号40 セル内の符号化された信号ブロックの識別は、受信信号ブロックと基礎ベクトルとの間の直接的な相関を調べることによってより効率的に達成される。従って、例えば、4つの基礎ベクトル、即ち基礎ブロックが存在する場合に、これらは図39に示されるように計16個の信号ブロックを生成する。各受信信号ブロックごとの受信信号ベクトルは、受信信号ベクトルの係数を産出するために各受信信号ブロックと4つの基礎ベクトル(即ち、4つの基礎ブロック)のそれぞれとの点乗積を計算することにより算出されることができる。次に、受信信号ブロックのそれぞれごとの受信信号ベクトルと次の記号に

より示される各信号ベクトルとの点乗積が算出され、これらの計算から最小値が選択される。

【数61】

■

これは、16個の信号ブロックのそれぞれと受信信号ブロックのそれぞれとの間の相関を算出することに等しいが、非常に少ない計算を伴う。

【0071】上述の復号化の論議は、次の式により示される予期された有効且つユニークな信号ブロックのセットが完全に特定されると仮定しており、信号ブロック変調パターン及び変調の色空間方向の両方が既知であることを意味している。

【数62】

$$\{\vec{s}_0, \vec{s}_1, \dots, \vec{s}_{M-1}\}$$

予期された信号ブロックの完全な明細は、格子の同期付け及び信号ブロック識別演算の両方で必要な相関計算を実行するために必要とされる。符号化が、固定された一定の色空間方向を用いて実施されると、信号ブロックの完全な明細は、復号化演算の開始時に作られることができる。しかしながら、色空間方向が符号化済み画像内の各画像参照色ごとに算出される場合、取得画像内で予期される信号ブロックのセットの完全な明細が復号化処理の一部として作られねばならない。これは、符号化された信号ブロックの色空間方向が、その参照色（即ち、符号化済み画像内で信号ブロックが占める画像領域の色）の関数であるためである。従って、信号ブロックを、提案された又は実際の信号セル或いは受信信号ブロックである取得画像の領域と相関させる任意の相関演算の間、色空間方向は以下のように算出されねばならない。相関演算への入力である取得画像の領域ごとに、その画像領域の平均色を算出し、その平均色を参照色と呼ぶ。色空間方向及び変調振幅を、任意の適切な方法に従って、この参照色を用いて算出する。次に、算出された色空間方向及び振幅を信号ブロック変調パターンと乗算することによって、次の記号により示される予期される信号ブロックを算出する。

【数63】

$$\vec{s}_i[p, q]$$

次に、有効な信号ブロックのこの時点で完全に特定されたセットを使用して、相関を実行（即ち、点乗積を計算）する。

【0072】図13及び14に例示されたタイプの1Dの信号セルを復号化するための技術は、ここまで記載された2Dの信号セルの復号化に類似している。1Dの信号ブロックにより符号化されたカラー画像の例では、取得画像は単にメッセージを保持する寸法にわたる符号化済みカラー画像のスライス（薄片）にすぎない。バースキャナ又は走査棒が、このようなスライスを生成するた

めに使用され得る。取得画像スライスの位置（合わせ）及びスケールを見つけた後に、復号化は1Dの信号セルを有効な1Dの信号ブロックと同期させることを伴う。この同期処理は、2Dの信号格子の同期の処理よりも非常に単純であるが、ほぼ同様に実行される。信号セルの部分が一旦同期付けられると、信号ブロック識別は相関演算を使用して、上述されたのと同じ方法で進められる。

【0073】図47は、本発明を実施するための、一般化された、プロセッサにより制御される装置100のブロック図である。装置100は、色変調された信号ブロックを使用してカラー画像内のデータを符号化するために、図1の演算200及び300を実行するように構成され得る。また、装置100は、取得画像から符号化されたメッセージ信号を復号化するために図43の演算800を実行するように構成されてもよい。図47の装置100は、単に例として、符号化及び復号化演算の両方を実行するために構成されているように示されていることに留意すべきである。装置100は、符号化及び復号化演算の内的一方のみを実行するように構成され得ることは理解されるであろう。図1のオリジナルカラー画像40、図6のカラー画像42、又は図43の取得カラー画像802等の入力カラー画像は、信号ソース158から生成される。信号ソース158は、カラー画像信号のあらゆる適切なソースであってよい。

【0074】プロセッサ140は、プログラムメモリ110にアクセスすることにより、次に装置が実行する命令を取り出す。装置100が、符号化済み画像を生成するためにカラー画像内にメッセージを符号化する演算200及び300を実行するように構成されると、プログラムメモリ110は、図3のフローチャート200に示される関数を実施するメモリ画像生成命令200及び図5の符号化済み画像生成命令300を含む。プログラムメモリ110は、命令200に従って入力メッセージを表現するように配置されるユニークにパターン化された信号ブロックを有するメッセージ画像を生成するために必要とされるサブルーチンのための命令を含む。これらには、信号ブロックを定義するための命令240、及び信号ブロック選択並びに配置命令280が含まれる。また、プログラムメモリ110は、命令300に従って、キャリア画像をアップサンプルし、キャリア画像をメッセージ画像と結合させるために必要なサブルーチンのための命令を含む。これらには、ソフトウェアが（定数である予め定められた±δ変調を使用するのとは対照的に）個々の信号ブロックごとに色変調を決定するように構成される場合には、色変調命令320が含まれる。

【0075】同様に、装置100が復号化演算800を実行するように構成される場合、プログラムメモリ110は、図43のフローチャートに示される関数を実施する復号化命令800を含み、更に図46のフローチャー

トに示されるサブルーチン850等の取得カラー画像からメッセージを復号化するために必要とされるサブルーチンのための命令を含む。

【0076】命令の実行中、プロセッサ140は、データメモリ114にアクセスすることができ、その演算を実行するために必要なデータを取得又は格納する。例えば、装置100が、入力メッセージを与えられてメッセージ画像を生成するための演算200を実行するように構成される場合、データメモリ114は、信号ブロックを定義する画像データ構造80及び符号化されるべき入力メッセージを示すデータ構造20、並びにメッセージ画像データ構造70を格納する。また、データメモリ114は、メッセージ画像データ構造70と結合されるべきアップサンプルされたキャリア画像データ構造116を格納する。また、データメモリ114は、装置100がそのように構成された場合に、色変調サブルーチン320により必要とされるデータ等の他の様々な雑データを格納する。同様に、装置100が復号化演算800を実行するように構成される場合、データメモリ114は、符号化済み画像に生じることが予期される信号ブロックを定義するデータ30と、信号ブロックを定義するベクトルを付加された基底関数894と、格子と信号セルの中心との同期化の結果としてもたらされる信号セルの位置及びサイズを示すデータ842と、回復されたメッセージ898とを格納する。データメモリ114は更に、装置100がそのように構成される場合に、復号化演算800により必要とされる他の様々な雑データを格納する。

【0077】また図47は、装置100で使用されることが可能なソフトウェア製品160を示す。ソフトウェア製品160は、記憶媒体アクセス回路150によりアクセスされることが可能なデータ記憶媒体170を含む。データ記憶媒体170は、本発明の演算の1つ又は複数を実行するための命令を格納する。

【図面の簡単な説明】

【図1】入力及び出力データ構造、並びに本発明のカラー画像符号化技術の工程を示すブロック図である。

【図2】信号ブロックのそれぞれが、本発明の実施の形態に従って、ユニークなメッセージ値を符号化する二次元のパターンで配置されるより小さい副領域から構成される、一対の信号ブロックの図である。

【図3】本発明の技術のメッセージ符号化部分の一般的な演算を示すフローチャートである。

【図4】本発明の実施の形態に従って、図2の信号ブロックを使用して符号化されるサンプルメッセージの図3の符号化処理の結果を示す図である。

【図5】本発明の技術の画像結合及び色変調部分の一般的な演算を示すフローチャートである。

【図6】本発明の実施の形態に従って中間画像上で実行されるセグメント化及び任意のアップサンプリング演算

(20) 38 の結果を示す図である。

【図7】本発明の実施の形態に応じて符号化された画像を生成するために、図5の色変調演算の一部として、図4のメッセージ画像と図6のキャリア画像との結合を示す図である。

【図8】本発明の実施の形態に応じて、図2の信号ブロックを代表して一方が、図6のキャリア画像の対応する画像部分と結合される際の色変調処理を示す図である。

【図9】本発明の実施の形態に応じて、図2の信号ブロックの他方が、図6のキャリア画像の対応する画像部分と結合される際の色変調処理を示す図である。

【図10】本発明のカラー画像符号化技術によりもたらされる符号化されたカラー画像を例示する図である。

【図11】本発明の実施の形態に従って、出力信号ブロック内に目的色、即ち参照色の適切な色変調をもたらすために、複数の可能な色空間方向の中からユニークな色空間方向がそこで決定され得る、多次元色空間を表す図である。

【図12】本発明の実施の形態に従って、出力信号ブロック内に目的色、即ち参照色の適切な色変調をもたらすために、複数の可能な色空間方向の中からユニークな色空間方向がそこで決定され得る、多次元色空間を表す図である。

【図13】信号ブロックのそれぞれが、異なる色変調から成るユニークな一次元のパターンから構成され、これもまた本発明の技術に従ったメッセージの符号化に適している、別の一対の信号ブロックの例を示す図である。

【図14】図13の一次元の信号ブロックの使用による、メッセージデータ項目のメッセージ画像への符号化を示す図である。

【図15】本発明の符号化技術の実施の形態に従って、図2の信号ブロックを構成するために使用される、2つのベクトルを付加された基底関数を示す2つの基礎ブロックを示す図である。

【図16】図2の信号ブロックが、図15に示される基底関数からどのように構成されるかを示し、更に本発明の符号化技術の実施の形態に従って、信号ブロックの信号ベクトル表示を示す図である。

【図17】図2の信号ブロックが、図15に示される基底関数からどのように構成されるかを示し、更に本発明の符号化技術の実施の形態に従って、信号ブロックの信号ベクトル表示を示す図である。

【図18】本発明のメッセージの符号化で用いられる一次元のパターンを有する図13の信号ブロックを構成するために使用される2つのベクトルを付加された基底関数を図式的に例示する2つの基礎ブロックを示す図である。

【図19】図13の信号ブロックが、図18に示される基底関数からどのように構成されるかを示し、更に本発明の符号化技術の実施の形態に従って、信号ブロックの

信号ベクトル表示を示す図である。

【図20】図13の信号ブロックが、図18に示される基底関数からどのように構成されるかを示し、更に本発明の符号化技術の実施の形態に従って、信号ブロックの信号ベクトル表示を示す図である。

【図21】本発明の技術を使用してメッセージを符号化するのに適した一対の信号ブロックの別の例を示す図である。

【図22】図21の信号ブロックを構成するために使用される基礎ブロックを示す図である。

【図23】図21の信号ブロックが、図22に示される基底関数からどのように構成されるかを示し、更に本発明の符号化技術の実施の形態に従って、信号ブロックの信号ベクトル表示を示す図である。

【図24】図21の信号ブロックが、図22に示される基底関数からどのように構成されるかを示し、更に本発明の符号化技術の実施の形態に従って、信号ブロックの信号ベクトル表示を示す図である。

【図25】本発明の技術を使用してメッセージを符号化するのに適したユニークな信号ブロックを構成するために基底関数として用いられる異なる周期を有する2つの正弦関数を示すグラフである。

【図26】多次元色空間を示し、色空間内の色空間方向に沿った色変調を決定するために図25の正弦関数がどのように使用されるかを示す図である。

【図27】図25の2つの正弦関数を使用して構成され、本発明の技術の使用によるメッセージの符号化に用いるのに適した一対の信号ブロックを示す図である。

【図28】本発明の技術の使用によるメッセージの符号化に用いるのに適したユニークな信号ブロックを構成するために使用され得る、別の一対のベクトルが付加された基底関数を基礎ブロックとして示す図である。

【図29】ユニークな信号ブロックが、図28に示される基底関数からどのように構成されるかを示し、更に本発明の符号化技術の実施の形態に従って、信号ブロックの信号ベクトル表示を示す図である。

【図30】ユニークな信号ブロックが、図28に示される基底関数からどのように構成されるかを示し、更に本発明の符号化技術の実施の形態に従って、信号ブロックの信号ベクトル表示を示す図である。

【図31】ユニークな信号ブロックが、図28に示される基底関数からどのように構成されるかを示し、更に本発明の符号化技術の実施の形態に従って、信号ブロックの信号ベクトル表示を示す図である。

【図32】ユニークな信号ブロックが、図28に示される基底関数からどのように構成されるかを示し、更に本発明の符号化技術の実施の形態に従って、信号ブロックの信号ベクトル表示を示す図である。

【図33】単一の信号ブロックが2進符号化体系の2つのデータ値を符号化する、図29、30、31及び32

の信号ブロックにメッセージ値を割り当てるための第1の符号化体系を示す図である。

【図34】4つのユニークな信号ブロックから成るセットが、4つの値を有する符号化体系を符号化する、図29、30、31及び32の信号ブロックにメッセージ値を割り当てるための第2の符号化体系を示す図である。

【図35】本発明の技術の使用によるメッセージの符号化に用いるのに適したユニークな信号ブロックを構成するために用いられる得る、2つの色空間方向で色変調を実施する基礎ブロックとして4つのベクトルが付加された基底関数から成るセットを示す図である。

【図36】本発明の技術の使用によるメッセージの符号化に用いるのに適した16個のユニークな信号ブロックを構成するために、図35の4つの基底関数を使用して定義され得る16個のユニークな信号ベクトルを示す図である。

【図37】図36の16個の信号ブロックの1つが、図35に示される基底関数からどのように構成されるかを示す図である。

20 【図38】図36の16個の信号ブロックの別の1つが、図35に示される基底関数からどのように構成されるかを示す図である。

【図39】図35に示される基底関数から構成される16個のユニークな信号ブロックを示す図である。

【図40】図2の信号ブロックの変形であり、ユニークな色変調された信号ブロックパターンが、より高い空間周波数で同サイズの信号ブロックに示される図である。

【図41】スカラーのユニークな空間パターンと色空間方向ベクトルとの乗算、及び入力参照色の加算を含む、出力信号ブロックカラー画像を生成するための成分を示す図である。

【図42】図41に示される信号ブロックの形成式に従って、出力信号ブロックを生成するための符号化演算を示すブロック図である。

【図43】本発明の符号化技術を使用して符号化されたメッセージを復号化するための復号化処理の一般的な演算を示すフローチャートである。

【図44】復号中に受信された信号セルを配置するために、信号格子のフレームワークを符号化された画像に正確に同期させる演算を示す図である。

40 【図45】復号中に受信された信号セルを配置するために、信号格子のフレームワークを符号化された画像に不正確に同期させる演算を示す図である。

【図46】復号化演算中に受信した信号セルを取得画像に配置するための、図43に示される同期演算の実施の一形態を示すフローチャートである。

【図47】本発明がその中で使用され得る、適切に構成された装置を示すブロック図である。

【図48】プリンタスポット、カラーセル、副領域及び信号ブロックの用語が、本発明のコンテキストでどのよ

41

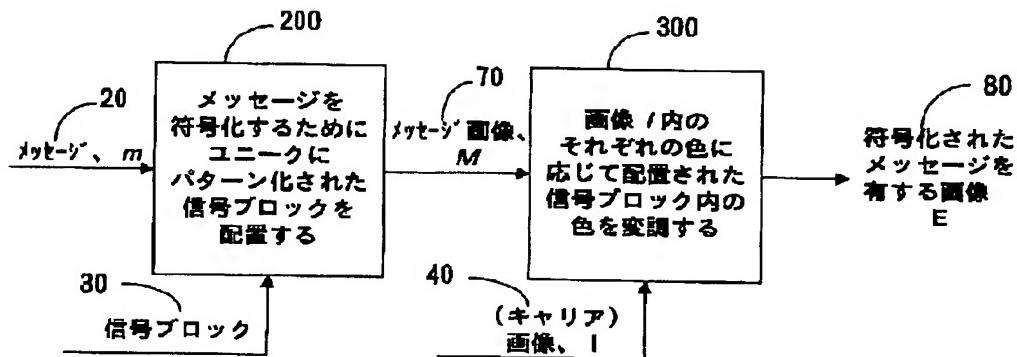
うに使用されるかを図式的に示す、プリントされた画像の一部の拡大図である。

【符号の説明】

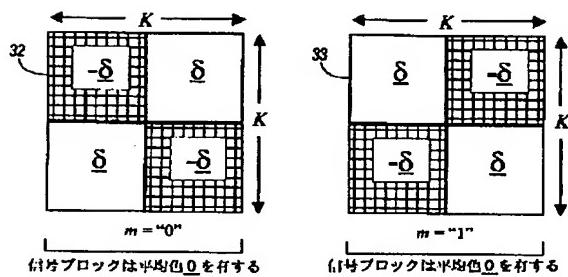
- 20 メッセージデータ
30 信号ブロック

- 40 オリジナル画像
70 メッセージ画像
80 符号化メッセージを有する画像
200 符号化演算
300 色変調演算
300 色変調演算

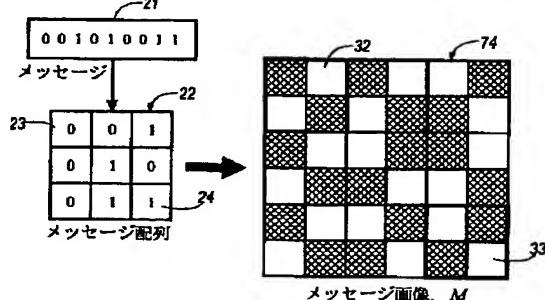
【図1】



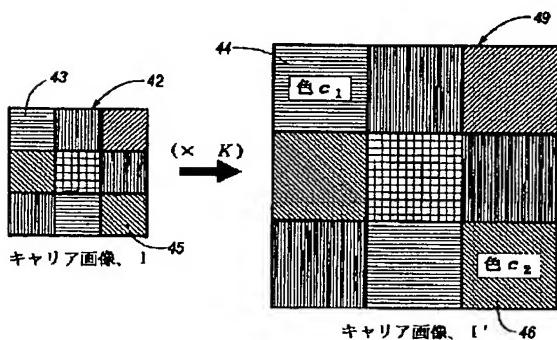
【図2】



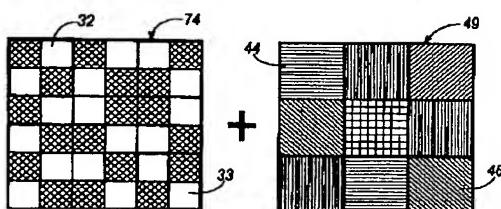
【図4】



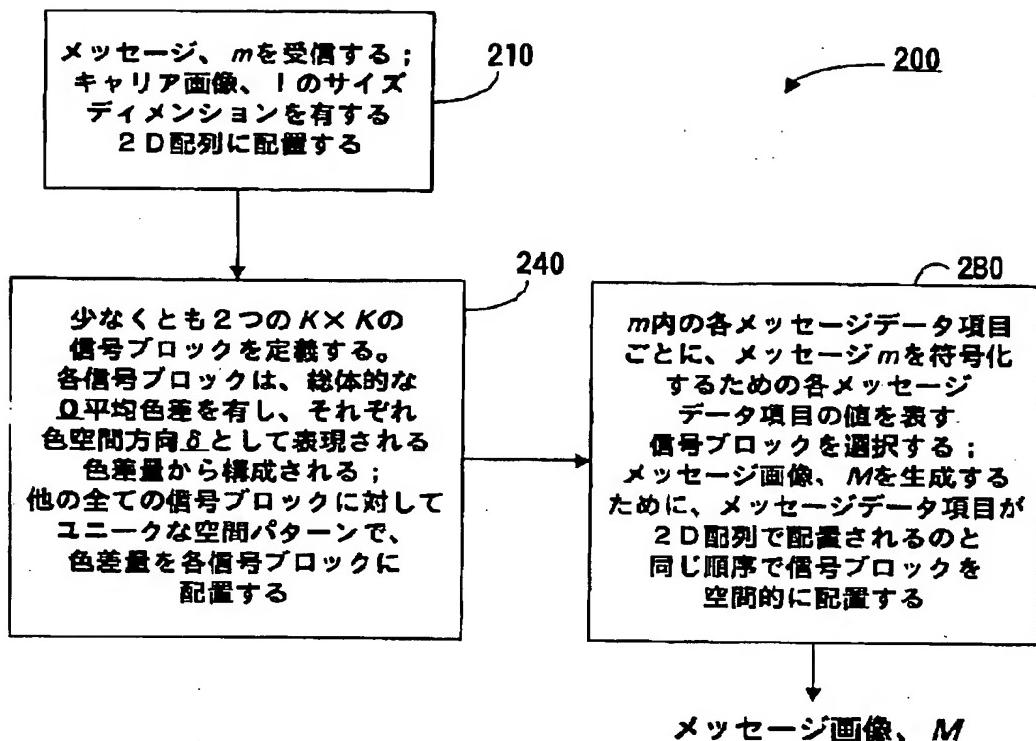
【図6】



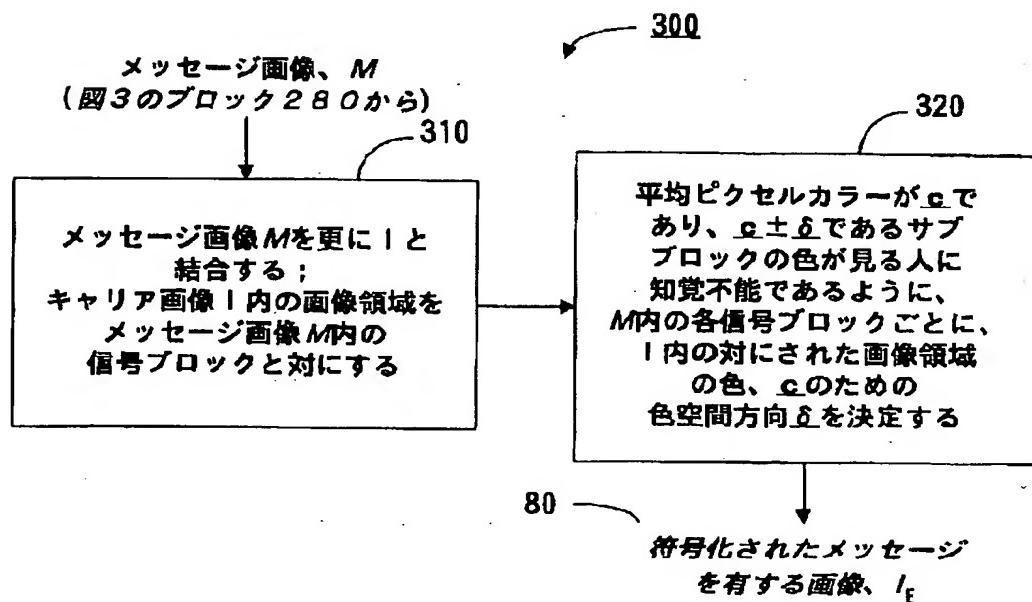
【図7】



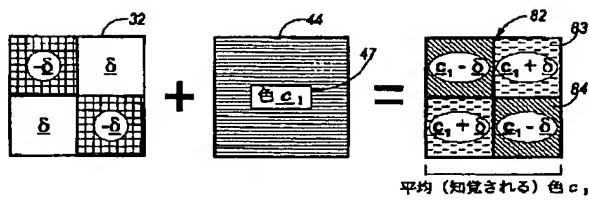
【図3】



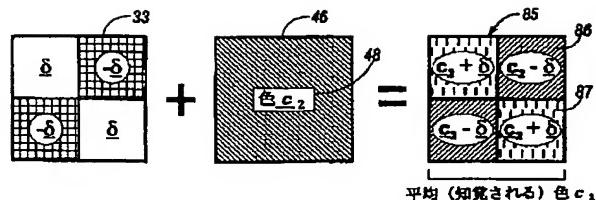
【図5】



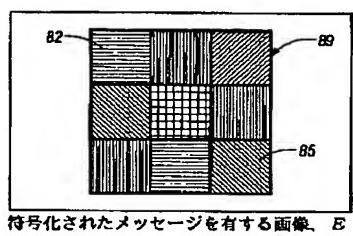
【図8】



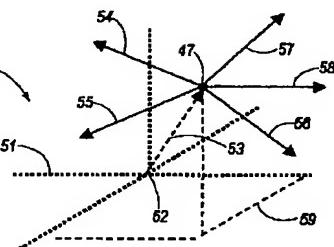
【図9】



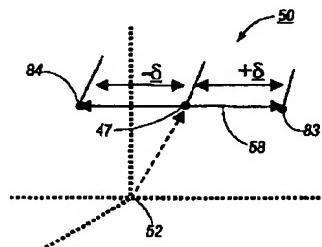
【図10】



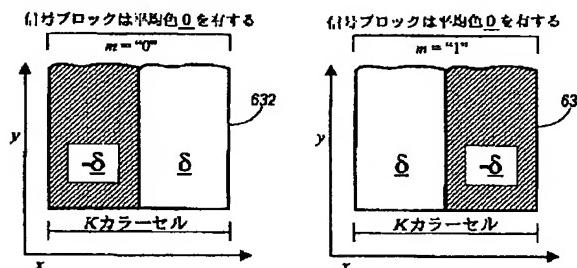
【図11】



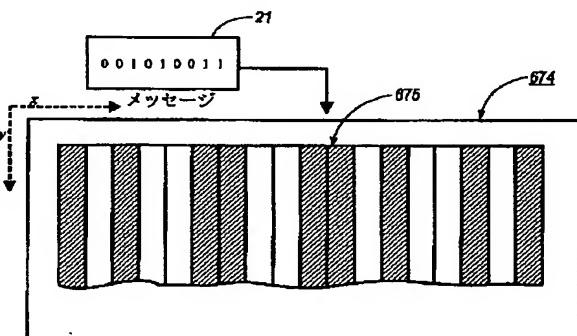
【図12】



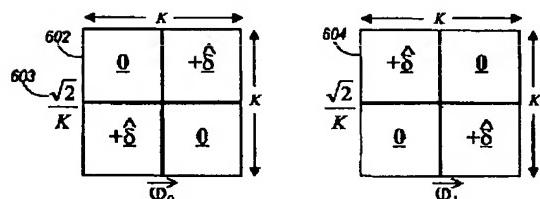
【図13】



【図14】



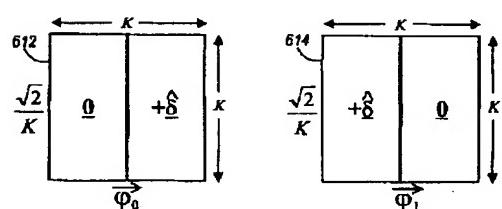
【図15】



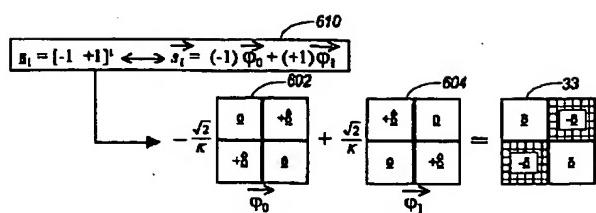
【図16】

$$\begin{aligned} s_0 &= [+1 \ -1]^T \longleftrightarrow \vec{s}_0 = (+1)\vec{\varphi}_0 + (-1)\vec{\varphi}_1 \\ &\rightarrow \frac{\sqrt{2}}{K} \begin{bmatrix} 0 & +\hat{\delta} \\ +\hat{\delta} & 0 \end{bmatrix}_{\vec{\varphi}_0} - \frac{\sqrt{2}}{K} \begin{bmatrix} +\hat{\delta} & 0 \\ 0 & +\hat{\delta} \end{bmatrix}_{\vec{\varphi}_1} = \begin{bmatrix} 0 & +\hat{\delta} \\ +\hat{\delta} & 0 \end{bmatrix}_{\vec{\varphi}_0} \end{aligned}$$

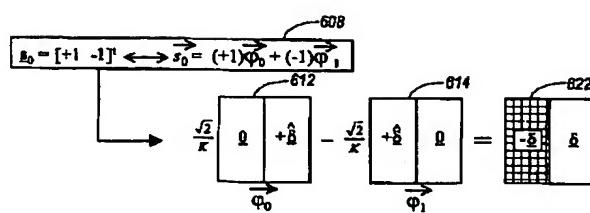
【図18】



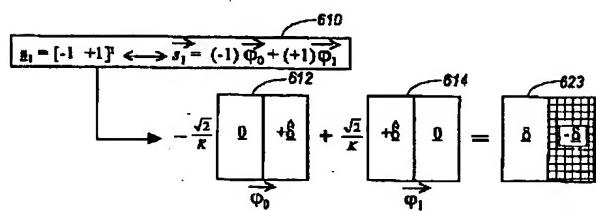
【図17】



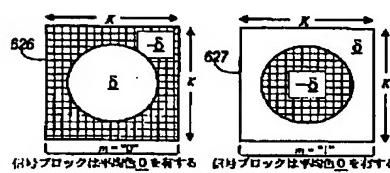
【図19】



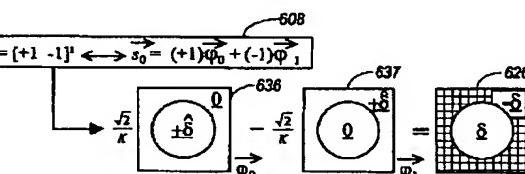
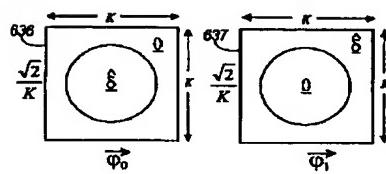
【図20】



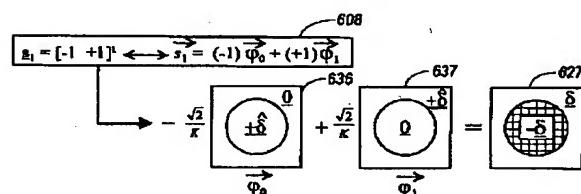
【図21】



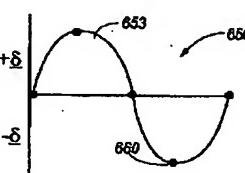
【図22】



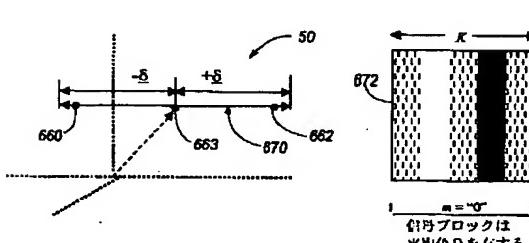
【図24】



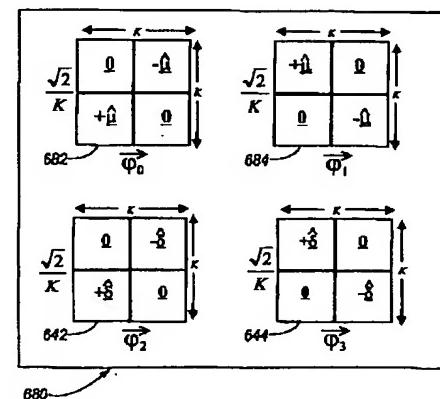
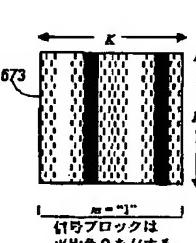
【図25】



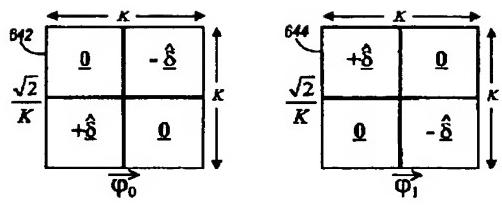
【図26】



【図27】



[図28]



[図29]

$$s_0 = [+1 \ -1]^T \longleftrightarrow s_0 = (+1)\Phi_0 + (-1)\Phi_1$$
$$\frac{\sqrt{2}}{K} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} - \frac{\sqrt{2}}{K} \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$$

【图30】

$$S_1 = [-1 \quad +1] \longleftrightarrow s_1 = (-1) \Phi_0 + (+1) \Phi_1$$

610

$$- \frac{\sqrt{2}}{K} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix} + \frac{\sqrt{2}}{K} \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & 1 \\ 1 & -\frac{1}{2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -1 & -1 \end{bmatrix}$$

642

644

657

[図31]

$$R_2 = [+1 \quad -1]^T \leftrightarrow \vec{s}_0 = (+1)\vec{q}_0 + (+1)\vec{q}_1$$

812

	$\frac{\sqrt{2}}{K}$	$\frac{-i}{K}$
$\frac{i}{K}$	2	$\frac{i}{K}$
$\frac{-i}{K}$	$\frac{-i}{K}$	2

+ $\frac{\sqrt{2}}{K}$

	$\frac{i}{K}$	$\frac{i}{K}$
$\frac{i}{K}$	2	$\frac{-i}{K}$
$\frac{-i}{K}$	$\frac{-i}{K}$	2

= 644

+1	-1
-1	-1
+1	-1
-1	-1

658

[図3-2]

$$B_3 = [-1 \ -1]^T \longleftrightarrow \vec{x}_0 = (-1) \Phi_0 + (-1) \Phi_1$$

842

$$-\frac{\sqrt{2}}{K} \begin{matrix} \Phi_0 \\ \Phi_1 \end{matrix} = -\frac{\sqrt{2}}{K} \begin{matrix} \Phi_0 \\ \Phi_1 \end{matrix} = \begin{matrix} \vec{x}_0 \\ \vec{x}_1 \end{matrix}$$

[図33]

〔図34〕

[図36]

856 857 858 859

662

690	888
$\vec{x}_0 = [+1 \quad +1 \quad +1 \quad +1]^T \iff \vec{x}_0 = (+1) \vec{\phi}_0 + (+1) \vec{\phi}_1 + (+1) \vec{\phi}_2 + (+1) \vec{\phi}_3$	
$\vec{x}_1 = [+1 \quad +1 \quad +1 \quad -1]^T \iff \vec{x}_1 = (+1) \vec{\phi}_0 + (+1) \vec{\phi}_1 + (+1) \vec{\phi}_2 + (-1) \vec{\phi}_3$	
$\vec{x}_2 = [+1 \quad +1 \quad -1 \quad +1]^T$	$\vec{x}_{10} = [-1 \quad +1 \quad -1 \quad +1]^T$
$\vec{x}_3 = [+1 \quad +1 \quad -1 \quad -1]^T$	
\vdots	\vdots
$\vec{x}_9 = [-1 \quad +1 \quad +1 \quad -1]^T$	$\vec{x}_{14} = [-1 \quad -1 \quad -1 \quad +1]^T$
	$\vec{x}_{15} = [-1 \quad -1 \quad -1 \quad -1]^T$

【图37】

[図38]

$$S_0 = +\frac{\sqrt{5}}{\kappa} \begin{pmatrix} 0 & -\hat{\mu} \\ \hat{\mu} & 0 \end{pmatrix} + \frac{\sqrt{5}}{\kappa} \begin{pmatrix} +\hat{\mu} & 0 \\ 0 & -\frac{\hat{\mu}}{2} \end{pmatrix} +$$

$$+\frac{\sqrt{5}}{\kappa} \begin{pmatrix} 0 & \frac{\hat{\mu}}{2} \\ \frac{\hat{\mu}}{2} & 0 \end{pmatrix} + \frac{\sqrt{5}}{\kappa} \begin{pmatrix} +\hat{\mu} & 0 \\ 0 & \frac{\hat{\mu}}{2} \end{pmatrix} = +\frac{\mu+\delta-\mu-\delta}{\kappa} \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} + +\frac{\mu+\delta-\mu-\delta}{\kappa} \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}$$

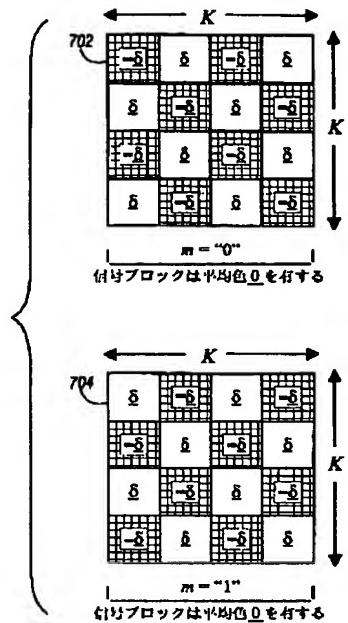
$$S_9 = -\frac{\sqrt{2}}{\kappa} \begin{pmatrix} 0 & \hat{\mu} \\ \hat{\mu} & 0 \end{pmatrix} + \frac{\sqrt{2}}{\kappa} \begin{pmatrix} \hat{\mu} & 0 \\ 0 & \hat{\mu} \end{pmatrix} +$$

$$\frac{\sqrt{2}}{\kappa} \begin{pmatrix} 0 & -\hat{\mu} \\ \hat{\mu} & 0 \end{pmatrix} - \frac{\sqrt{2}}{\kappa} \begin{pmatrix} +\hat{\mu} & 0 \\ 0 & -\hat{\mu} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} +\mu & -\delta \\ -\delta & +\mu \end{pmatrix}$$

【図39】

Diagram illustrating a sequence of 15 matrices B_1 to B_{15} , each represented as a 2x2 block matrix. The matrices are arranged in a 5x3 grid. Arrows point from specific matrices to a central box labeled 692, and from B_4 to 696.

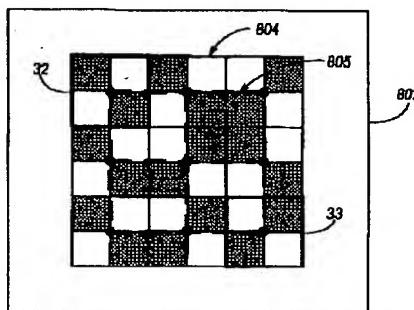
【図40】



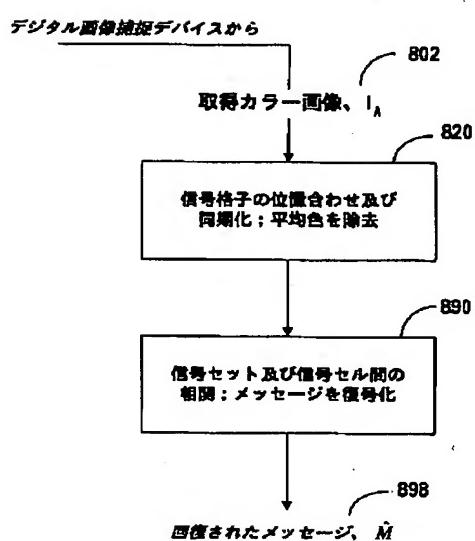
【図41】

$$\underline{c} + \delta \cdot \hat{\underline{\alpha}} \cdot \begin{pmatrix} 338 & \\ & 333 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} +1 & -1 \\ -1 & +1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 330 & \\ & 331 \end{pmatrix}$$

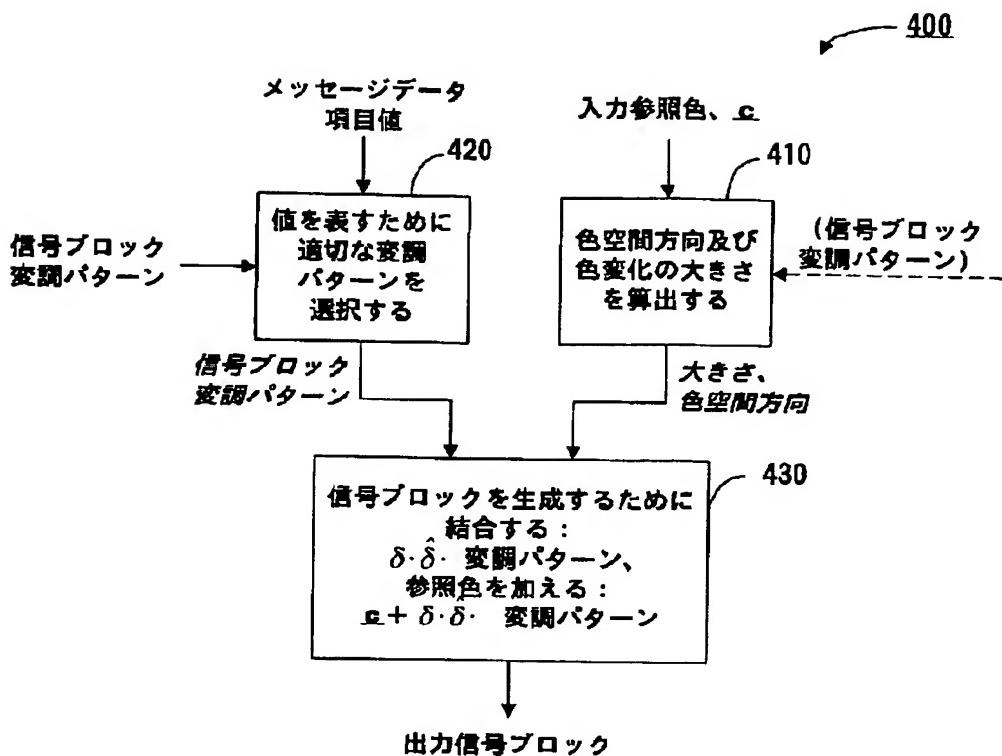
【図44】



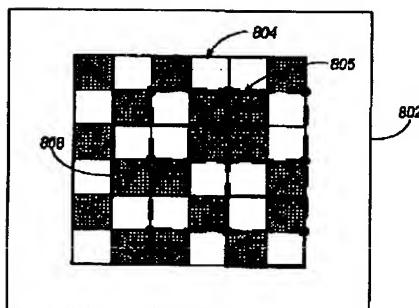
【図43】



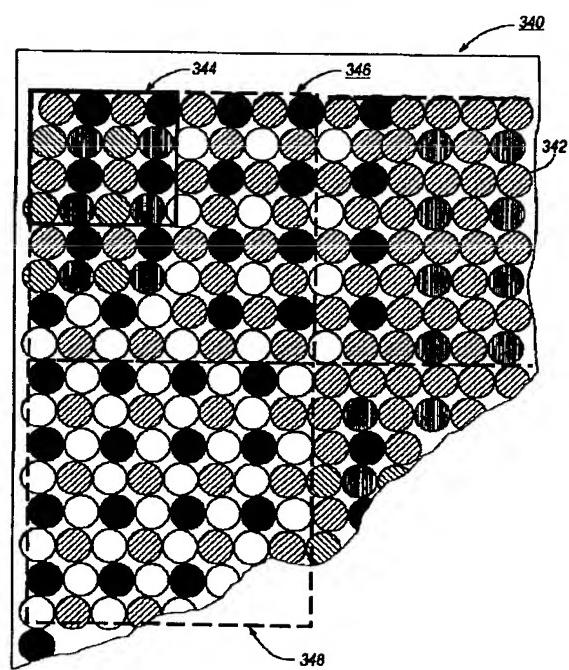
【図42】



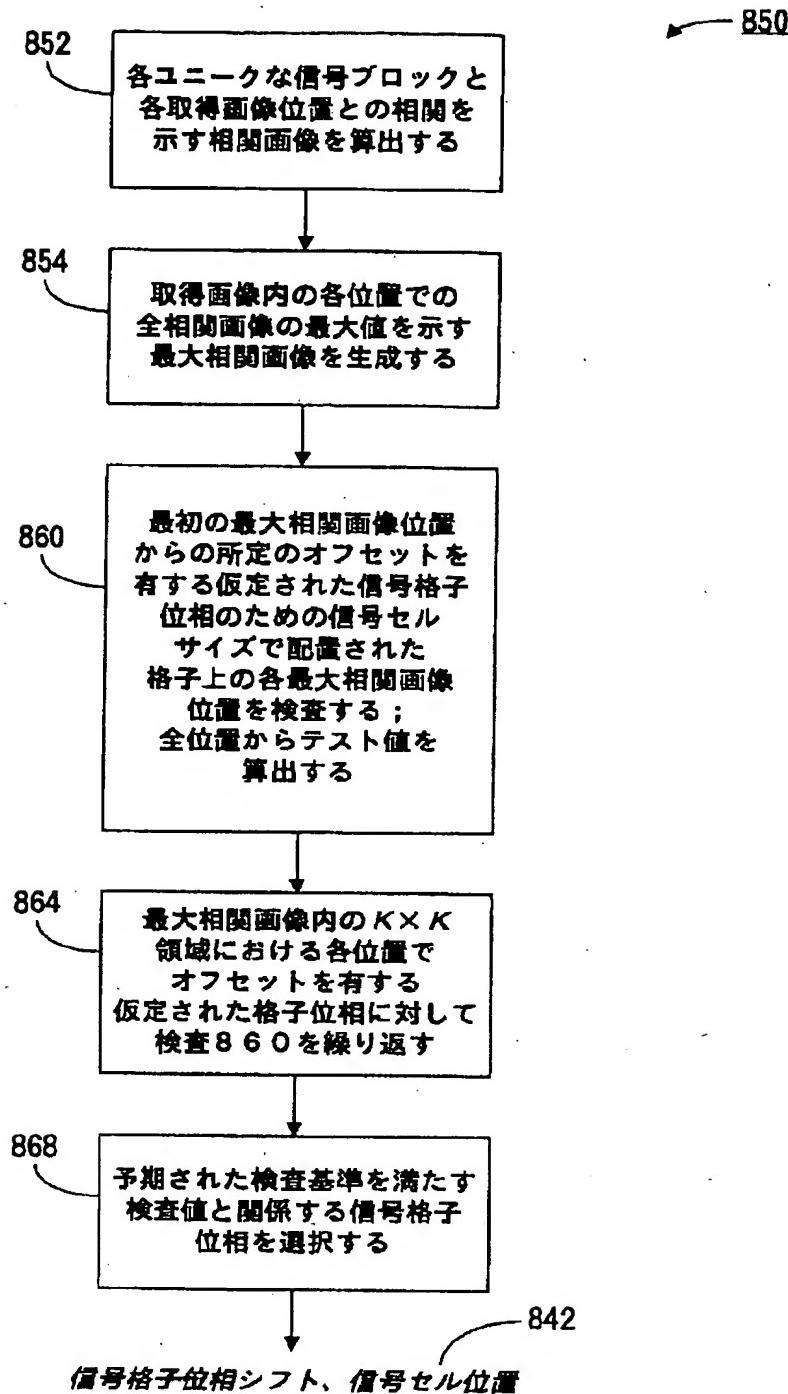
【図45】



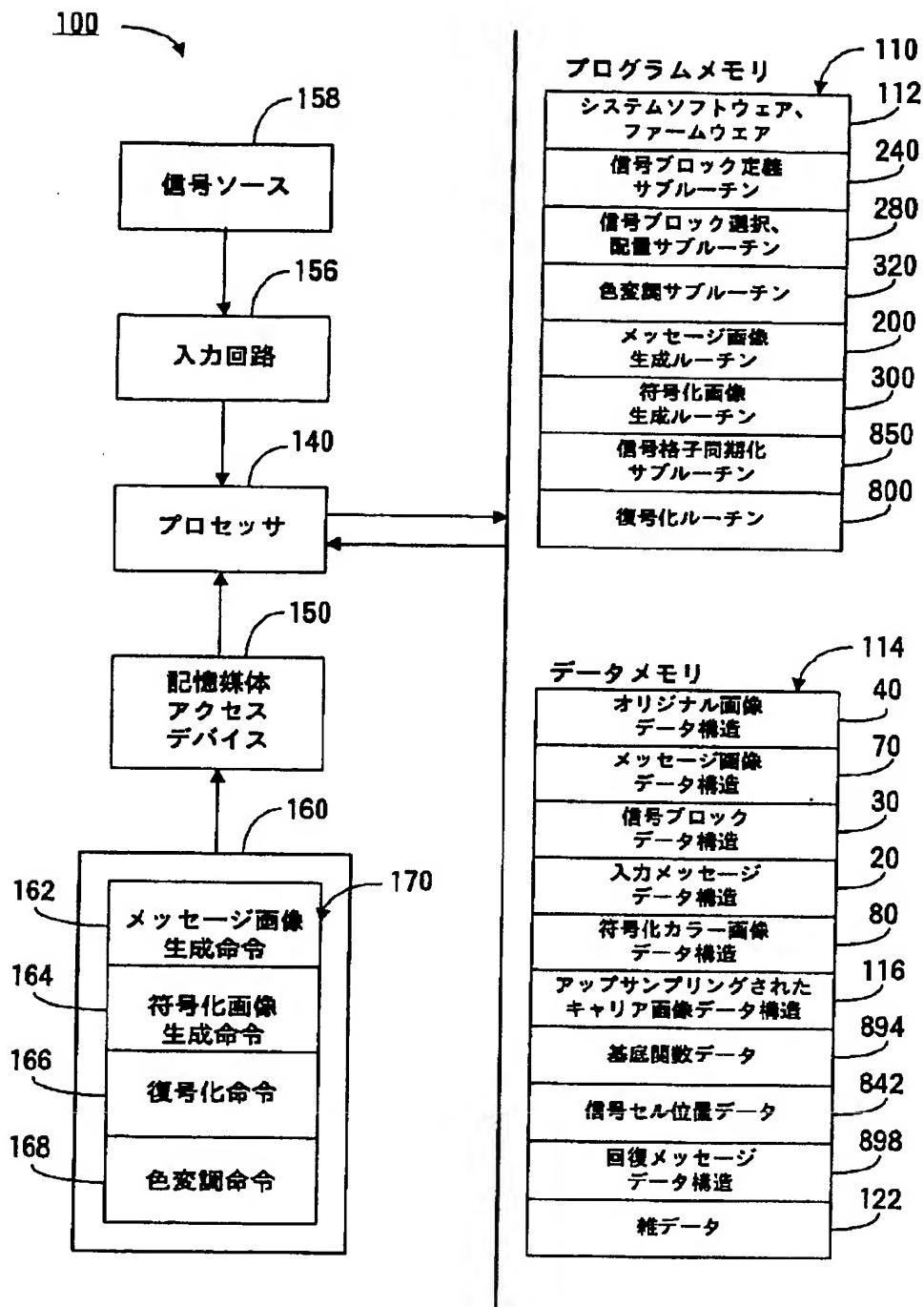
【図48】



【図46】



【図47】



フロントページの続き

(72)発明者 シン トン

アメリカ合衆国 32225 フロリダ州 ジ
ヤクソンビル スカーレット ビューグ
ラー レーン 309